

10/506555

#2

Rec'd PCT/PTO 02 SEP 2004



REC'D 16 JUL 2003	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 09 493.4

Anmeldetag: 7. März 2002

Anmelder/Inhaber: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen/DE

(vormals: Carl Zeiss Semiconductor
Manufacturing)

Bezeichnung: Vorrichtung, EUV-Lithographiegerät und
Verfahren zur Vermeidung und Reinigung von
Kontamination auf optischen Elementen

IPC: G 03 F 7/20

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. April 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

[Handwritten signature]
Agurks

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

cz 33

07. März 2002

me/aew/hue/wos

G:\JBFULA\FUPWPT\ALL3671

Carl Zeiss
Semiconductor Manufacturing Technologies AG

73447 Oberkochen

**Vorrichtung, EUV-Lithographiegerät und Verfahren zur Vermeidung und
Reinigung von Kontamination auf optischen Elementen**

Vorrichtung, EUV-Lithographiegerät und Verfahren zur Vermeidung und Reinigung von Kontamination auf optischen Elementen

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vermeidung der Kontamination auf Oberflächen optischer Elemente gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Regelung der Kontamination der Oberfläche mindestens eines optischen Elementes sowie ein EUV-Lithographiegerät mit optischen Elementen, wobei in der Nähe mindestens eines der optischen Elemente eine Detektiereinrichtung für Sekundärelektronen angebracht ist, die mit einer Auswerteeinheit wirkverbunden ist.

Ferner betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zur Reinigung von kontaminierten Oberflächen von optischen Elementen durch Bestrahlung in kontrolliert restgashaltigem Vakuum.

Optische Elemente, wie z.B. Photomasken oder Viellagenspiegel, für den extrem ultravioletten Wellenlängenbereich (EUV), d.h. Wellenlängen zwischen 11 nm und 14 nm, werden insbesondere zum Einsatz in der EUV-Lithographie von Halbleiterbauelementen benötigt. Typische EUV-Lithographiegeräte weisen acht oder mehr Spiegel auf. Um dennoch eine hinreichende Gesamtintensität der Arbeitsstrahlung zu erreichen, müssen die Spiegel möglichst hohe Reflektivitäten aufweisen, denn die Gesamtintensität ist proportional zum Produkt der Reflektivitäten der einzelnen Spiegel. Diese hohe Reflektivität sollten die Spiegel möglichst während ihrer gesamten Lebensdauer beibehalten.

Weiterhin muß die Homogenität bzw. das ursprünglich gewünschte Profil der Reflektivität über die Spiegeloberflächen über die gesamte Lebensdauer erhalten bleiben.

Die Reflektivität und die Lebensdauer von EUV-Spiegeln und EUV-Photomasken wird besonders durch die Kontamination der Oberfläche unter EUV-Bestrahlung in Form der Ablagerung von Kohlenstoff und durch Oxidation der Oberfläche beeinträchtigt. Ablagerungen rühren z.B. von kohlenstoffhaltigen Stoffen her, die aus einzelnen Vorrichtungskomponenten oder aus dem Photoresist, mit dem die zu bestrahlenden Wafer beschichtet sind, ausgasen. Oxidation wird durch in der Restgasatmosphäre vorhandene sauerstoffhaltige Moleküle verursacht, die durch die EUV-Strahlung vermittelt Photoemission in Radikale aufgespalten werden. Aus der Oberfläche des optischen Elements austretende Sekundärelektronen führen zur Akkumulation von Kontamination, indem sie auf der Oberfläche in einem dynamischen Gleichgewicht adsorbierte Moleküle des Restgases in Bruchstücke aufspalten, die sich anschließend permanent auf der Oberfläche ablagern oder mit ihr reagieren.

In der Restgasatmosphäre dominieren typischerweise Wasserstoff, Wasserdampf, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid. In der Regel liegen die Partialdrücke in mbar innerhalb folgender Bereiche:

	Typischer Bereich für Ultra-Hoch-Vakuum-systeme [mbar]	Typisches ausgeheiztes Vakuum [mbar]	Typisches nicht ausgeheiztes Vakuum [mbar]
C_xH_y	$10^{-12} - 10^{-8}$	10^{-12}	10^{-9}
CO	$10^{-12} - 10^{-8}$	10^{-11}	10^{-9}
CO ₂	$10^{-12} - 10^{-8}$	10^{-11}	10^{-9}
H ₂	$10^{-10} - 10^{-7}$	10^{-9}	10^{-8}
H ₂ O	$10^{-10} - 10^{-6}$	10^{-9}	10^{-7}

Entsprechend den Partialdruckverhältnissen und der einfallenden EUV-Intensität überwiegt der Prozess der Oberflächenoxidation oder der Prozess der Ablagerungen von Kohlenstoff auf der Oberfläche. Man spricht daher entweder von einer oxidierenden oder einer karbonisierenden Umgebung.

Aus der DE 41 06 841 A1 ist ein Verfahren zum Bestimmen von Kontaminationen mittels Photoemission bekannt, bei dem durch sequentielles Beleuchten einer Oberfläche Sekundärelektronen freigesetzt und mit einer Elektronenauffangeinrichtung erfaßt werden. Aus dem Sekundärelektronenstrom wird auf die Dicke der Kontaminationsschicht geschlossen. Um kapazitive Stromeffekte zu kompensieren, ist eine zweite Elektronenauffangeinrichtung vorgesehen, die an die erste Elektronenauffangeinrichtung angrenzt und von der Oberfläche den gleichen Abstand aufweist. Die von beiden Elektronenauffangeinrichtungen erfaßten Ströme werden voneinander subtrahiert. Ferner sind Maßnahmen vorgesehen, um photovoltaische Stromeffekte zu kompensieren.

Die US 6,004,180 befaßt sich mit der Reinigung von Elektronen emittierenden Komponenten, die die Kathode der Kathodenstrahlröhre bilden. Hierbei wird durch Einleitung eines Gases, wie z.B. Sauerstoff, erreicht, daß die Ablagerungen auf der Kathode in gasförmige Produkte umgewandelt werden. Eine gezielte Steuerung des Gaseinlasses wird nicht beschrieben.

Aus der JP 62051224 A ist es bekannt, das Reinigen mit UV-Licht-gestützter Oxidation über das Messen von Sekundärelektronen zu verfolgen. Mit kohlenstoffhaltigen Substanzen verschmutzte Oberflächen werden in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre mit UV-Licht bestrahlt. Unter dem UV-Einfluß bildet sich Ozon, das seinerseits in Sauerstoffradikale aufgespalten wird, die die Kohlenstoffkontamination der zu reinigenden Oberfläche wegätzen. Das UV-Licht regt außerdem die Emission von Sekundärelektronen an. Deren Anzahl steigt mit abnehmender Kontaminationsschichtdicke an. Die Intensität der Photoemission wird angezeigt. Dieses Signal wird aber nicht zur Steuerung eines Reinigungsprozesses ausgenutzt.

Die EP 0 987 601 A2 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung des Kontaminationsgrades optischer Elemente innerhalb eines Lithographiegerätes für weiche Röntgenstrahlung. Dazu werden die aus der potentiell kontaminierten Oberfläche austretenden Sekundärelektronen gemessen. Dieses Signal wird online ausgewertet, indem es durch Vergleich mit empirisch gewonnen Daten in einen Kontaminationsgrad umgerechnet wird. Wird ein bestimmter Kontaminationsgrad erreicht, muß das betreffende optische Element ausgewechselt werden.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung bereitzustellen, mit dem die Kontamination der mit EUV-Licht bestrahlten Oberfläche eines optischen Elements verhindert wird, bevor diese zur vollständigen Unbrauchbarkeit des optischen Elements führt. Es ist auch

Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Reinigung einer kontaminierten Oberfläche bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren gelöst, bei dem der Photostrom zur Regelung der Gaszusammensetzung des Restgases eingesetzt wird. Über die Restgasanalyse mit einem Restgasanalysator (z. B. Massenspektrometer) kann experimentell ermittelt werden (Kalibrierung), ob es sich um eine karbonisierende oder eine oxidierende Umgebung handelt, die wiederum die Art und den Grad der Kontamination bestimmt. Bei dieser Analyse ist die einfallende EUV Intensität und das Spektrum der einfallenden Strahlung zu berücksichtigen.

Es hat sich herausgestellt, daß der Zusammenhang zwischen dem Photostrom und der Kontamination der Oberfläche von optischen Elementen zur aktiven Steuerung und zum Abbau der Kontamination auf optischen Elementen eingesetzt werden kann.

Durch die Zugabe von entsprechenden Gasen in das geschlossene System, in dem sich die optischen Elemente befinden, kann eine oxidierende Atmosphäre in eine karbonisierende Atmosphäre und umgekehrt umgewandelt werden.

Die aus der Restgasatmosphäre auf jeglichen Oberflächen adsorbierten Restgasbestandteile (z.B. Kohlenwasserstoffe) werden im Bereich EUV bestrahlter Oberflächen durch die Sekundärelektronen aufgespalten, so daß sich eine Kohlenstoffschicht auf der Oberfläche optischer Elemente abscheidet, die zu einer Veränderung des Photostroms führt. Ein dazu konkurrierender Vorgang ist die Oxidation des Kohlenstoffs zu CO und CO₂, wodurch die Kohlenstoffschicht wieder entfernt werden kann, was zu einer entgegengesetzten Veränderung des Photostroms führt.

Wenn die Veränderung der bestrahlten Oberfläche nicht nur beobachtet, sondern durch Veränderungen der Restgasatmosphäre sofort auf die weitere Änderung des Kontaminationsgrades der Oberfläche Einfluß genommen wird, kann somit auf einfache Weise die Kontaminationsrate und auch der Abbau der Kontaminationsschicht gesteuert werden.

Bei der Auswertung der Photoemissionsmessung kann unter Umständen das zeitlich exponentielle Abklingen des entsprechenden Stromsignals eine Rolle spielen, wenn die Zeitkonstante des Abfalls geringer als die Periodendauer T der Strahlungsquelle ist. Synchrotronstrahlung hat Pulsfrequenzen im oberen Megahertzbereich, so dass sich aufgrund der zeitlichen Trägheit des Photoemissionsprozesses ein konstanter Strom messen lässt. Gepulste Laser haben dagegen Frequenzen im unteren Kilohertzbereich, so dass mit der Zeitkonstante des Photoemissionsprozesses ein sägezahnförmiger Strom gemessen wird. Um den Einfluss der Periodendauer der Strahlungsquelle zu umgehen, wird vorzugsweise das Photoemissionssignal in das gemittelte Zeitintegral \bar{I} des entsprechenden Photostromes umgerechnet:

$$\bar{I}_{\text{Strom}} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} I_{\text{Strom}}(t) \cdot dt}{T_2 - T_1} \quad \begin{array}{l} \text{mit } T_2 - T_1 \gg T \\ T: \text{ Periodendauer} \end{array}$$

Zusätzlich ist es von Vorteil, wenn das zeitlich gemittelte Stromintegral für jede einzelne bestrahlte optische Fläche auf die einfallende Strahlungsintensität normiert wird:

$$\bar{I}_{\text{norm}} = \bar{I}_{\text{Strom}} / \bar{I}_{\text{Strahlung}} \quad \text{mit} \quad \bar{I}_{\text{Strahlung}} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} I_{\text{Strahlung}}(t) \cdot dt}{T_2 - T_1}$$

mit $T_2 - T_1 \gg T$

T : Periodendauer

$i = 1, 2, \dots, n$. n : Anzahl der bestrahlten optischen Flächen.

Wenn von Photostrom gesprochen wird, ist vorzugsweise \bar{I}_{norm} gemeint.

In karbonisierender Umgebung wird der Photostrom vorzugsweise zur Regelung des Sauerstoffpartialdruckes oder des Partialdruckes sauerstoffhaltiger Gase eingesetzt.

In oxidierender Umgebung wird der Photostrom vorzugsweise zur Regelung des Partialdruckes kohlenwasserstoffhaltiger Gase eingesetzt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens werden folgende Schritte durchgeführt:

- a) Messen eines ersten Wertes der Photostroms zu Beginn der EUV-Bestrahlung und Speichern dieses Wertes als ersten Schwellenwert S_1 ;
- b) Vorgabe mindestens eines zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ für den Photostrom mit $i = 1, 2, 3, \dots$
- c) Messen des Photostroms während der laufenden EUV-Bestrahlung;
- d) Regulieren der Gaszusammensetzung während der Bestrahlung in Abhängigkeit vom gemessenen Photostrom, indem bei Erreichen oder Überschreiten des zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ dem geschlossenen System mindestens ein Gas zugeführt wird und anschließend, vor oder bei Erreichen des ersten Schwellenwertes S_1 die Zufuhr des Gases zumindest gedrosselt wird.

Dieses Verfahren kann zu einer abklingenden Photostromkurve oder zu einer oszillierenden Photostromkurve führen, was nachfolgend noch beschrieben wird.

Welches Gas in welcher Menge zugeführt wird, hängt zum einen von der Restgaszusammensetzung und andererseits von der Art und der Stärke der Kontamination ab. Es kann sich daher um ein Gas handeln, das bereits in der Restgasatmosphäre enthalten ist, dessen Anteil aber zu gering ist, um den Abbau der Kontamination zu beeinflussen. Durch Zugabe dieses Gases wird dann der Partialdruck verändert.

Es kann aber auch ein Gas zugegeben werden, das vorher noch nicht in der Restgasatmosphäre vorhanden war.

Als Gase kommen insbesondere O_2 , H_2 , H_2O , Ar, SF_6 , Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon, Stickstoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Chlormethan, Dichlormethan, Trichlormethan (Chloroform), Tetrachlor-kohlenstoff, Tetrafluorkohlenstoff, Fluormethan, Difluormethane, Alkane, d.h. Methan bis Oktan, Alkene d.h. Ethylen bis Okten, Alkine d.h. Ethin bis Oktin, Alkohole d.h. Methanol bis Hexanol, Keton d.h. Aceton bis Hexanon, Aldehyde d.h. Acetaldehyd bis Hexanaldehyd, Ameisensäure, Essigsäure, Propionsäure, Wasserstoffperoxyd, Hydrazin, Distickstoffoxyd, Stickoxyd, Stickstoffdioxid, Kohlenmonoxyd, Kohlendioxyd, Ammoniak, Phosphin, Arsen, Antimonwasserstoff, Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff, Bromwasserstoff, Jodwasserstoff, Borfluorid, Diboran, Stickstofftrifluorid, Schwefelwasserstoff, Selenwasserstoff, Tellurwasserstoff, oder Schwefeldioxyd, oder eine Kombination aus zwei oder mehr dieser Gase, und/oder sauerstoff- oder kohlenstoffhaltige Gase in Betracht (z.B. $C_x H_y$). Zur Prozeßunterstützung kann der Partialdruck sauerstoff- und kohlenstofffreier Gase wie beispielweise H_2 , Ar oder SF_6 über den Photostrom geregelt werden.

Vorzugsweise wird der Photostrom zur Regelung des Sauerstoffpartialdrucks eingesetzt.

Indem die Zusammensetzung der Restgasatmosphäre durch die Veränderung des Sauerstoffpartialdrucks modifiziert wird, wird entweder der Oxidationsprozess oder der Ablagerungsprozess von Kohlenstoff bevorzugt. Der Sauerstoffpartialdruck wird durch die Zugabe entweder von Sauerstoff oder sauerstoffhaltigen Gasen verändert. Durch die Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks wird das Gleichgewicht zur Oxidation hin verändert, die die kohlenstoffhaltigen Ablagerungen abbaut. Da die Anzahl der austretenden Sekundärelektronen sehr empfindlich auf geringe Dickenänderungen der zu durchquerenden Schicht reagiert, kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren schon auf Kontaminationsschichten im Subnanometer- bis Nanometerbereich reagiert werden und die Kontamination während der Bestrahlung effizient minimal gehalten werden.

Der Sauerstoffpartialdruck wird vorzugsweise im Bereich von 10^{-12} - 10^{-1} mbar besonders bevorzugt im Bereich von 10^{-9} - 10^{-2} mbar, insbesondere im Bereich von 10^{-8} bis 10^{-5} mbar geregelt.

Bei den Schwellenwerten kann es sich im einfachsten Fall um Werte handeln, die direkt proportional zur Messkurve der Sekundärelektronen sind. Es sind aber auch andere Umrechnungen denkbar. Z.B. ist es sinnvoll, die Messwerte in Werte umzurechnen, die proportional zur ersten Ableitung der Messkurve sind. Dies bietet sich insbesondere dann an, wenn man die Gaszufuhr unmittelbar vor einem Maximum oder Minimum der Intensität der Photoemission an- oder abschalten will, da sich die entsprechende Steigungsänderung genauer ermitteln lässt als das bevorstehende Durchlaufen eines Extremums. Beispielsweise lässt sich dadurch wirkungsvoll das ungewollte Oxidieren der Spiegeloberfläche selbst verhindern, d.h. nach dem Entfernen der Kohlenstoffkontamination. Denkbar wäre auch die Überwachung der zweiten oder einer höheren Ableitung oder einer anderen Funktion der Intensität der Sekundärelektronen, z.B. Integration.

Um ein Konvergieren auf einen Gleichgewichtszustand zu erreichen, bei dem sich insbesondere Oxidation und Ablagerung von kohlenstoffhaltigen Stoffen in ihrer Wirkung aufheben, der Kontaminationsgrad also bei einem möglichst geringen Wert konstant bleibt, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die zweiten Schwellenwerte $S_{2,i}$ auf den ersten Schwellenwert S_1 zulaufen zu lassen.

Vorzugsweise werden mehrere zweite Schwellenwert $S_{2,i}$ vorgegeben, wobei $|S_{2,i+1} - S_1| < |S_{2,i} - S_1|$ oder $|S_{2,i+1} - S_{2,i}| < |S_{2,i} - S_{2,i-1}|$ mit $i = 1, 2, 3, \dots$

Während der erste Schwellenwert S_1 zu Beginn der Bestrahlung gewonnen wird und charakteristisch für den anfänglichen Ist-Zustand der bestrahlten Oberfläche ist, werden der oder die zweiten Schwellenwerte $S_{2,i}$ vorgegeben und hängen nicht nur von der Schichtbeschaffenheit, d.h. deren Material und Design, sondern stark von der anfänglichen Zusammensetzung der Restgasatmosphäre sowie der EUV-Intensität ab. Der oder die zweiten Schwellenwerte $S_{2,i}$ müssen daher zuvor aus Kalibrationsmessungen gewonnen werden. Dabei sind auch die Anforderungen der Bestrahlungsanwendung zu berücksichtigen, z.B. dass bei der Lithographie die Kontamination und damit die Reflektivität nur innerhalb bestimmter Grenzen schwanken sollte.

Das Verfahren kann weiter verbessert werden, wenn vor der EUV-Bestrahlung die Lage des nächstgelegenen Minimums und /oder Wendepunktes und/oder des Maximums (Kurvenlage) der elektrischen Feldintensität der sich bei Reflexion der eingestrahnten Betriebswellenlänge im Vielschichtsystem ausbildenden stehenden Welle bezüglich der freien Grenzfläche des Vielschichtsystems bestimmt wird und daß in Abhängigkeit der Kurvenlage der zweite Schwellenwert $S_{2,i}$ bezüglich des ersten Schwellenwertes S_1 als unterer oder als oberer Schwellenwert festgelegt wird.

Es hat sich gezeigt, daß es einen Zusammenhang zwischen der elektrischen Feldintensität der sich je nach Vielschichtdesign einstellenden stehenden Welle

an der freien Grenzfläche des optischen Elements und der Kontamination dieser freien Grenzfläche gibt. Es hat sich auch gezeigt, daß dann, wenn die elektrische Feldintensität der sich einstellenden stehenden Welle an der freien Grenzfläche minimal ist, die Emission der aus der Grenzflächenschicht austretenden Sekundärelektronen ebenfalls minimal ist. Wenn die elektrische Feldintensität an der freien Grenzfläche hingegen maximal ist, ist auch der Photostrom maximal.

Bei geringer oder keiner Photoemission wird die Aufspaltung der auf den Oberflächen aus dem Restgas in einem dynamischen Gleichgewicht angelagerten Restgasmoleküle, wie Kohlenwasserstoff- oder Wassermoleküle, weitgehend unterbunden, was ansonsten eine Kontamination der freien Grenzfläche bewirken könnte.

Die Kurvenlage des nicht kontaminierten Vielschichtsystems bestimmt den Verlauf der Photostromkurve während des Betriebs, d.h. während der Kontamination der Oberfläche des optischen Elementes. Das Aufwachsen einer Kohlenstoffschicht bewirkt eine Veränderung der Kurvenlage, was sich in einer Änderung des Photostromes niederschlägt. Da gleichzeitig aufgrund der Anlagerung des Materials Kohlenstoff die Photoemission zurückgeht, führt die Überlagerung beider Effekte entweder zu einer mehr oder weniger starken Zu- oder Abnahme des Photostroms.

Dementsprechend sind die zweiten Schwellenwerte $S_{2,i}$ als untere oder als obere Schwellenwerte zu definieren.

Vorzugsweise wird der obere Schwellenwert $S_{2,i}$ kleiner oder gleich dem maximalen Photostrom \bar{I}_{\max} gewählt, bei dem die freie Grenzfläche im Maximum der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle liegt. Der untere Schwellenwert $S_{2,i}$ wird vorzugsweise größer oder gleich dem minimalen Photostrom \bar{I}_{\min} gewählt, bei dem die freie Grenzfläche im Minimum der

elektrischen Feldintensität der stehenden Welle liegt. Vorzugsweise werden die Schwellenwerte $S_{2,i}$ auf 80% bis 10% von $\bar{I}_{\max} - \bar{I}_{\min}$ eingestellt, besonders bevorzugt auf 50% - 20%.

Bei oxidationsempfindlichen Oberflächen, wie z.B. Silizium, muß eine Oxidation der Oberfläche vermieden werden, die in oxidierender Umgebung nicht zu verhindern ist. Es wird daher vorzugsweise vor der EUV-Bestrahlung eine karbonisierende Gaszusammensetzung eingestellt, die zu einer Kohlenstoffablagerung führt, die aber dank kontrollierter Restgaseinstellung (z.B. durch Zugabe mindestens eines sauerstoffhaltigen Gases) wieder abgebaut werden kann. Auch kann jeweils vor Erreichen des ersten Schwellenwertes S_1 wieder zur karbonisierenden Umgebung zurückgekehrt werden (z.B. durch Zugabe mindestens eines kohlenstoffhaltigen Gases).

Im Hinblick auf eine schnelle Reaktion an der bestrahlten Oberfläche auf die sich ändernde Restgaszusammensetzung wird vorteilhafterweise das Gas möglichst in Oberflächennähe, d.h. in der Nähe des optischen Elementes, zugeführt.

Außerdem wird diese Aufgabe durch eine Vorrichtung zur Regelung der Kontamination auf der Oberfläche mindestens eines optischen Elements gelöst, die gekennzeichnet ist durch eine Detektiereinrichtung für Sekundärelektronen, eine an die Detektiereinrichtung angeschlossene Auswerteeinheit und eine mit einer Gaszuführeinrichtung wirkverbundene Steuereinheit, die an die Auswerteeinheit angeschlossen ist.

Eine erfindungsgemäße EUV-Lithographievorrichtung mit optischen Elementen, wobei in der Nähe mindestens eines der optischen Elemente eine Detektiereinrichtung für Sekundärelektronen angebracht ist, die mit einer Auswerteeinheit wirkverbunden ist, ist dadurch gekennzeichnet, dass an der

Auswerteeinheit eine Steuereinheit angeschlossen ist, die mit mindestens einer Gaszuführeinrichtung wirkverbunden ist.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. ihre Ausprägung als EUV-Lithographiegerät sind für die Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet. Mit der Detektiereinrichtung wird die Photoemissionsmessung vorgenommen. Diese Daten werden in der Auswerteeinheit umgerechnet und mit Schwellenwerten verglichen. Die daraus resultierende Information wird an die Steuereinheit weitergegeben, die daraufhin die Gaszuführeinrichtung steuert.

Vorzugsweise umfaßt die Detektiereinrichtung einen über der Oberfläche des optischen Elementes angeordneten Nachweisring oder ein Nachweisnetz, das derart angeordnet und/oder ausgebildet ist, daß es die einfallende EUV-Strahlung nicht oder nur gering beeinträchtigt. Der Photostrom kann aber auch über jegliche in der Nähe befindliche Metalloberfläche abgeführt werden.

Der offene Durchmesser der Detektiereinrichtung kann beispielsweise so groß gewählt werden, daß die EUV-Strahlung ungehindert hindurchtreten kann, andererseits aber die Sekundärelektronen noch zuverlässig gemessen werden können.

Die Gaszuführeinrichtung weist vorzugsweise mindestens eine Gaszuleitung auf, die vorteilhafterweise benachbart zur Oberfläche des optischen Elementes angeordnet ist. Durch eine benachbarte Anordnung wird die Reaktionszeit, bis das zugeführte Gas wirkt, deutlich verkürzt.

In bevorzugten Ausführungsformen weisen die Vorrichtung und das EUV-Lithographiegerät ein Massenspektrometer auf, das seine Meßsignale ebenfalls an die Auswerteeinheit weitergibt. Dieses Massenspektrometer dient dazu, vor oder zu Beginn der Bestrahlung die Restgaszusammensetzung zu messen bzw.

während der Bestrahlung parallel zur Messung der Photoemission die Gaszusammensetzung bzw. deren Partialdrücke zu messen.

Vorteilhafterweise sind die Auswerte- und die Steuereinheit zu einer Regeleinheit zusammengefasst. Diese kann als analoge oder digitale Schaltung, auch in Form eines integrierten Schaltkreises ausgebildet sein. Es kann auch ein mit entsprechenden Datennahme- und Steuerkarten ausgerüsteter Rechner sein.

Um den Photostrom zu normieren sind vorzugsweise noch eine oder mehrere (z.B. an jedem Spiegel) Einrichtungen zur Messung der EUV-Intensität vorgesehen.

Ferner wird die Aufgabe durch ein Verfahren zur Reinigung von mit Kohlenstoff kontaminierten Oberflächen von optischen Elementen durch Bestrahlung mit EUV-Strahlung gelöst, das sich dadurch auszeichnet, dass während der Bestrahlung der zu reinigenden Oberfläche erzeugte Photostrom gemessen wird und als Stopppunkt des Einlassens von Gasen der Zeitpunkt gewählt wird, an dem der Photostrom vorgegebene Schwellenwerte über- bzw. unterschreitet. Diese Schwellenwerte sind die oben genannten Schwellenwerte S_1 , $S_{2,i}$.

Bei Oberflächen, die bereits stark mit Kohlenstoff kontaminiert sind, bietet es sich an, eine Reinigung unter EUV-Bestrahlung in sauerstoffhaltiger Atmosphäre durchzuführen, um die Kontamination zu entfernen. Um den Reinigungsprozeß rechtzeitig zu stoppen, bevor die Oberfläche selbst angegriffen wird, d.h. ein sogenanntes Overetching zu verhindern, werden während des Reinigungsprozesses austretende Sekundärelektronen detektiert.

Die Erfindung soll anhand der Zeichnungen weiter erläutert werden. Dazu zeigen

- Fig. 1 den schematischen Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 2a-d schematische Darstellung eines optischen Elementes und der dazugehörigen stehenden Welle der elektrischen Feldintensität,
- Fig. 3-6 geregelte Photostromkurven für ein optisches Element mit einer oxidationsresistenten Oberfläche für vier verschiedene Kurvenlagen,
- Fig. 7-10 geregelte Photostromkurven für ein optisches Element mit einer oxidationsempfindlichen Kohlenstoffoberfläche für vier verschiedene Kurvenlagen,
- Fig. 11-14 geregelte Photostromkurven für ein optisches Element mit einer sehr oxidationsempfindlichen Si-Oberfläche für vier verschiedene Kurvenlagen.

Die Vorrichtung 1 weist eine Vakuumkammer 3 auf, in der ein optisches Element 2, z.B. ein Spiegel mit einem Viellagensystem oder eine optische Maske, angeordnet ist, das mit EUV-Strahlung ausgeleuchtet wird. Oberhalb des optischen Elements 2 ist zur Detektion der Sekundärelektronen ein Nachweisring oder auch Nachweisgitter 41 angeordnet, das für die EUV-Strahlung im wesentlichen transparent ist. Damit die Sekundärelektronen von dem Ring 41 angezogen werden, ist über eine Spannungsquelle 43 zwischen dem optischen Element 2 und dem Ring 41 eine Spannung von einigen Volt (0 bis 100 V) angelegt. Trifft ein Sekundärelektron den Ring 41, fließt ein Strom, der mit Hilfe des Amperemeters 42 gemessen wird. In der Auswerteeinheit 5, die z.B. als analoge oder digitale Schaltung, aber auch als integrierter Schaltkreis ausgebildet sein kann oder mit der Steuereinheit 6 zu einer Regeleinheit beispielsweise in Form eines Rechners zusammengefasst sein

kann, wird das Stromsignal ausgewertet, indem es beispielsweise über die Zeit integriert wird und mit vorgegebenen und gespeicherten Schwellenwerten verglichen wird. Die Information, welcher Schwellenwert gerade über- oder unterschritten wird, wird an die Steuereinheit 6 weitergegeben, die daraufhin das Ventil 72 der Gaszuleitung 71 öffnet oder schließt. Die Gaszuleitung 71 mündet in unmittelbarer Nähe der Oberfläche des optischen Elements 2, damit das Gleichgewicht zwischen dem Ablagerungs- und dem Oxidationsprozess von Kohlenstoff mit möglichst wenig Verzögerung verändert werden kann.

Vor Beginn der Bestrahlung wird mit einem Massenspektrometer oder Restgasanalysator 8 der anfängliche Partialdruck der Restgasbestandteile gemessen und an die Auswerteeinheit 5 weitergegeben, damit der Schwellenwertsatz einer passenden Kalibration ausgewählt werden kann. Auch während der Bestrahlung wird parallel zum Photostrom mit dem Massenspektrometer 8 das gesamte Restgasspektrum weiterhin gemessen. Mit dieser zusätzlichen Information kann u.a. kontrolliert werden, ob nach wie vor der passende Schwellenwertsatz der Auswertung zugrunde gelegt wird.

Bei entsprechend umfangreicher Kalibrierung und eventuell unter Einbeziehung der aktuellen Restgaspartialdrücke, kann auch die Regelung der Gaszufuhr dahingehend verfeinert werden, daß das Ventil 72 nicht nur geöffnet oder geschlossen wird, sondern auch Zwischenstufen eingestellt werden. Zur homogenen Verteilung des oder der zugeführten Gases/Gase sollten mehrere Gaszuleitungen 71 um die Fläche angeordnet sein. In diesem Fall kann auch gesteuert werden, welche Gaszuleitung dosiert geöffnet wird und welche nicht. Ferner ist noch eine Einrichtung 7 zur Messung der EUV-Intensität an die Auswerteeinheit 5 angeschlossen.

Einzelne oder sämtliche beschriebenen Komponenten können auch mehrfach in der Vakuumkammer 3 vorhanden sein.

In der Fig. 2a-d ist ein optisches Element dargestellt, das auf einem Substrat 11 ein Vielschichtsystem 10 aufweist. Zusätzlich ist die elektrische Feldintensität I für unterschiedliche Fälle 1, 2, 3, 4 eingezeichnet.

Im Fall 1 liegt die freie Grenzfläche 100 des Vielschichtsystems 10 zwischen einem Wendepunkt und der vom Vielschichtsystem weg ansteigenden Flanke der elektrischen Feldintensität.

Im Fall 2 liegt die freie Grenzfläche 100 des Vielschichtsystems 10 zwischen einem relativen Maximum und dem Wendepunkt auf der vom Vielschichtsystem weg abfallenden Flanke der elektrischen Feldintensität.

Im Fall 3 liegt die freie Grenzfläche 100 des Vielschichtsystems 10 zwischen einem Wendepunkt und der vom Vielschichtsystem weg abfallenden Flanke der elektrischen Feldintensität.

Im Fall 4 liegt die freie Grenzfläche 100 des Vielschichtsystems 10 zwischen einem relativen Minimum und dem Wendepunkt auf der vom Vielschichtsystem weg ansteigenden Flanke der elektrischen Feldintensität.

Mit 20 wird die durch Kontamination aufgewachsene Kohlenstoffschicht bezeichnet, deren freie Grenzfläche mit dem Bezugszeichen 101 gekennzeichnet ist.

Es ist in den Fig. 2a-d deutlich zu sehen, wie sich durch die aufwachsende Kohlenstoffschicht 20 die Kurvenlage der elektrischen Feldintensität in Verhältnis zur freien Grenzfläche 101 verändert.

Die nachfolgenden Figuren zeigen den Photostrom für verschiedene Vielschichtsysteme für anfänglich nichtkontaminierte, freie Grenzflächen 100 in den Fällen 1, 2, 3 und 4.

Die Photostromkurven der Fign. 3 bis 6 repräsentieren die Fälle 1 bis 4 an einem Vielschichtsystem mit einer oxidationsunempfindlichen Oberflächenschicht aus Ruthenium. Das Vielschichtsystem kann beispielsweise folgenden Schichtaufbau aufweisen:

$\text{Ru}(1\text{nm})/\text{Mo}(1\text{nm})/\text{Si}(1.9\text{nm})/\text{Mo}(2.85\text{nm})/37\times\text{Si}[(4.1\text{nm})\text{Mo}(2.85\text{nm})]$

Die Rutheniumschicht wird auch bei einem Sauerstoffüberschuß nicht oxidiert.

Die Fig. 3 bezieht sich auf den Fall 1 in der Fig. 2a.

Im Fall 1 befindet sich die freie Grenzfläche 100 in einem Wendepunkt der elektrischen Feldintensität, was bedeutet, daß der Photostrom einen mittleren Wert S_1 aufweist. Mit zunehmendem Aufwachsen von Kohlenstoff steigt die Kurve der elektrischen Feldintensität an, was mit einer Zunahme des Photostroms einhergeht. Das Aufwachsen der Materials Kohlenstoffs bewirkt zwar eine Abnahme der Anzahl der Sekundärelektronen, allerdings überwiegt die Zunahme der Sekundärelektronen durch das Herauswachsen der freien Grenzfläche in Richtung Maximum der elektrischen Feldintensität, in dem die Photoemission am größten ist.

Da die Lage der freien Grenzfläche in Bezug auf die Photoemission im Vergleich zu den Materialeigenschaften die dominierende Größe darstellt, nimmt insgesamt die Photostromkurve zu, bis der zweite Schwellenwert $S_{2,i}$ erreicht ist. Durch eine geeignete Sauerstoffzufuhr schwingt diese Kurve wieder zum Schwellenwert S_1 zurück (s. Fig. 3). Die Sauerstoffzufuhr wird gedrosselt und schließlich vollständig abgestellt, was wiederum zu einem Aufwachsen des Kohlenstoffs führt. Beim Erreichen des zweiten Schwellenwertes $S_{2,2}$, der kleiner $S_{2,1}$ ist, wird wiederum Sauerstoff eingeleitet usw.

Im Fall 3 befindet sich die freie Grenzfläche 100 zu Beginn ebenfalls in einem Wendepunkt, allerdings bewegt sich die freie Grenzfläche 101 durch das Aufwachsen des Kohlenstoffs in Richtung Wellenknoten, d.h. in Richtung Minimum der elektrischen Feldintensität, was mit einer Abnahme des Photostroms verbunden ist. Diese Abnahme wird durch die durch das Material Kohlenstoff bewirkte Abnahme der Photoemission verstärkt, was zu dem in Fig. 5 gezeigten Kurvenverlauf führt.

Im Fall 4 (siehe Fig. 6) befindet sich der Wellenknoten bzw. das Minimum der elektrischen Feldintensität unmittelbar auf der Oberfläche, was bedeutet, daß der Photostrom gering ist. Wenn nun ein Aufwachsen der Kohlenstoffschicht erfolgt, dann nimmt der Photostrom zu, und zwar deswegen, weil die Oberfläche aus der Knotenlage herauswandert. Das Aufwachsen des Materials Kohlenstoff bewirkt zwar eine Abnahme des Photostroms, allerdings überwiegt der Anstieg des Photostromes aufgrund des Herauswachsens aus der Knotenlage. Dies führt im Ergebnis zu einer ansteigenden Photostromkurve. Bei Erreichen des Schwellenwertes $S_{2,i}$ wird Sauerstoff oder sauerstoffhaltiges Gas in das geschlossene System eingeleitet, was zu einer Oxidation und somit zu einem Abtragen der Kohlenstoffschicht führt. Dies führt zu einer Abnahme der Photostromkurve, was trotz verringerter Kohlenstoffschichtdicke durch die Annäherung an die Knotenlage bedingt ist. Wenn der Ausgangszustand einer kohlenstofffreien Oberfläche erreicht wird, was dem unteren Schwellenwert S_1 entspricht, kann keine weitere Oxidation stattfinden und die Sauerstoffzufuhr wird dementsprechend heruntergeregelt. Dieser Vorgang wiederholt sich, wobei die zweiten Schwellenwerte $S_{2,2}$, $S_{2,3}$, $S_{2,4}$, $S_{2,5}$ jeweils niedriger als der vorhergehende zweite Schwellenwert gelegt werden, so daß im Verlauf der Zeit eine Annäherung an den Schwellenwert S_1 stattfindet und somit der Regelbereich minimiert werden kann.

Im Fall 2 befindet sich die freie Grenzfläche 100 des Vielschichtsystems im Maximum der Kurve der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle. In

diesem Fall ist die Photoemission aufgrund der Kurvenlage deutlich höher als im Fall 4. In der Fig. 4 liegt der erste Schwellenwert S_1 bei ca. 180 nA. Durch das Aufwachsen der Kohlenstoffschicht wandert die Oberfläche aus dieser Position heraus, was mit einer Abnahme des Photostroms verbunden ist. Das Anwachsen der Kohlenstoffschicht äußert sich ebenfalls in einer Verringerung der Photoemission, was in der Summe zu einem starken Abnehmen der Photostromkurve führt. Die Kurve nimmt so lange ab, bis der Grenzwert $S_{2,1}$ erreicht ist. Vorher oder bei Erreichen oder bei Überschreiten dieses Grenzwertes wird die geeignete Sauerstoffzufuhr in Gang gesetzt, was zu einem Abbau der Kohlenstoffschicht führt. Die Photostromkurve schwingt daher wieder zum Ausgangswert S_1 zurück. Dieser Vorgang setzt sich ebenfalls periodisch fort, wobei die zweiten Schwellenwerte $S_{2,2}$, $S_{2,3}$ usw. jeweils höher angesetzt werden, so daß mit zunehmender Zeitdauer sich die Grenzwerte dem ersten Grenzwert S_1 nähern.

Der Kurvenverlauf der Photoströme hängt entscheidend davon ab, ob man sich bezüglich der elektrischen Feldintensitäten am Punkt mit großer oder geringer Anfangssteigung befindet. In den Fällen 1 und 3 befindet man sich bezüglich der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle in einer großen Anfangssteigung, was eine schnellere Rückkopplung und somit eine große Oszillationsfrequenz bewirkt. Das Material Kohlenstoff bewirkt aber generell eine Reduktion des Photostromes aufgrund seiner geringen Photokonversions-effizienz. In den Fällen 2 und 4 befindet man sich in einer kleinen Anfangssteigung, so daß hier langsamere Rückkopplung des Regelkreises vorliegt.

In den Fig. 7 bis 10 sind die Photostromkurven für ein optisches Element mit einer oxidationsempfindlichen Kohlenstoffdeckschicht (z.B. C- Cap-layer 1nm) dargestellt. Die vier Kurven beziehen sich ebenfalls auf die Fälle 1 bis 4 in der Fig. 2.

Im Fall 1, der in Fig. 7 dargestellt ist, befindet sich die freie Grenzfläche 101 der Kohlenstoffdeckschicht im Wendepunkt der Kurve der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle. Mit zunehmendem Anwachsen des Kohlenstoffs stellt sich ein Kurvenverlauf entsprechend der Fig. 3 ein, wobei allerdings beim Einreichen des zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ die Sauerstoffzugabe nur dosiert erfolgen kann, damit eine vollständige Oxidation der Deckschicht vermieden wird, die in der vorgesehenen Dicke von 1 nm erhalten werden soll.

Die Fälle 1 bis 4 zeigen alle keinen oszillierenden Photostrom, da der Regelkreis nur schwach rückkoppeln darf, damit die vollständige Oxidation des Kohlenstoffs vermieden wird.

Die Fign. 11 bis 14 betreffen ein Vielschichtsystem mit einer oxidationsempfindlichen Oberfläche, wie z.B. mit einer Siliziumschicht. Um eine Oxidation der Siliziumoberfläche zu vermeiden, wurde zunächst eine karbonisierende Restgasatmosphäre eingestellt. Die Sauerstoffzufuhr wird bei Erreichen des zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ eingeleitet und anschließend langsam gedrosselt, so daß der Schwellenwert S_1 nicht erreicht werden kann, was mit einem Beginn der Oxidation der Oberfläche gleichbedeutend wäre.

Die Photostromkurven gemäß der Fig. 11 - 14 zeigen jeweils einen asymptotischen Verlauf.

Es kann zur Schonung der Si-Oberfläche bereits vor Einreichen des Schwellenwertes S_1 eventuell kohlenstoffhaltiges Gas zugegeben werden. Der aufgewachsene Kohlenstoff wird anschließend durch die Zugabe von sauerstoffhaltigem Gas wieder abgetragen. Dies würde ebenfalls zu einem oszillierenden Kurvenverlauf des Photostroms führen.

Bezugszeichenliste

1	Vorrichtung
2	optisches Element
3	Vakuumkammer
5	Auswerteeinheit
6	Steuereinheit
7	Einrichtung zur Messung der EUV-Intensität (ggf. mehrfach lokal installiert)
8	Restgasanalysator (z.B. Massenspektrometer ggf. mehrfach lokal installiert)
10	Vielschichtsystem
11	Substrat
20	Kohlenstoffschicht
41	Elektronenfänger (z.B. Nachweisgitter, Nachweisring ggf. mehrfach lokal installiert)
42	Amperemeter
43	Spannungsquelle
71	Gaszuleitung (ggf. mehrfach lokal installiert)
72	Ventil (ggf. mehrfach lokal installiert)
100	freie Grenzfläche des Vielschichtsystems
101	freie Grenzfläche der Kohlenstoffschicht

Patentansprüche

1. Verfahren zur Vermeidung von Kontamination auf Oberflächen optischer, ein Vielschichtsystem aufweisender Elemente während ihrer Bestrahlung mit EUV-Strahlung bei Betriebswellenlänge in einem evakuierten, eine Restgasatmosphäre aufweisenden geschlossenen System, bei dem der durch Photoemission aus der bestrahlten Oberfläche des Vielschichtsystems erzeugte Photostrom gemessen wird, **dadurch gekennzeichnet**,

daß der Photostrom zur Regelung der Gaszusammensetzung des Restgases eingesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch folgende Schritte**:
 - a) Messen eines ersten Wertes des Photostroms zu Beginn der EUV-Bestrahlung und Speichern dieses Wertes als ersten Schwellenwert $S_{1,i}$;
 - b) Vorgabe mindestens eines zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ für den Photostrom mit $i = 1, 2, 3, \dots$
 - c) Messen des Photostroms während der laufenden EUV-Bestrahlung;
 - d) Regulieren der Gaszusammensetzung während der Bestrahlung in Abhängigkeit vom gemessenen Photostrom, indem bei Erreichen oder Überschreitung des zweiten Schwellenwertes $S_{2,i}$ dem geschlossenen System mindestens ein Gas zugeführt wird und anschließend vor oder bei Erreichen des ersten Schwellenwertes $S_{1,i}$ die Zufuhr dieses Gases zumindest gedrosselt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Gas zugeführt wird, das in der Restgasatmosphäre bereits enthalten ist, wobei der Partialdruck dieses Gases verändert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Gas zugeführt wird, das in der Restgasatmosphäre vor der Zugabe nicht enthalten ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß O_2 , H_2 , H_2O , Ar, SF_6 , sauerstoffhaltiges Gas und/oder kohlenstoffhaltiges Gas zugeführt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere zweite Schwellenwerte $S_{2,i}$ vorgegeben werden, wobei $|S_{2,i+1} - S_1| < |S_{2,i} - S_1|$ oder $|S_{2,i+1} - S_{2,i}| < |S_{2,i} - S_{2,i-1}|$ mit $i = 1, 2, 3, \dots$
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor der EUV-Bestrahlung die Lage des nächstgelegenen Minimums und /oder Wendepunktes und/oder des Maximums (Kurvenlage) der elektrischen Feldintensität der sich bei Reflexion der eingestrahlten Betriebswellenlänge im Vielschichtsystem ausbildenden stehenden Welle bezüglich der freien Grenzfläche des Vielschichtsystems bestimmt wird und daß in Abhängigkeit der Kurvenlage der zweite Schwellenwert $S_{2,i}$ bezüglich des ersten Schwellenwertes S_1 als unterer oder als oberer Schwellenwert festgelegt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der obere Schwellenwert $S_{2,i}$ kleiner oder gleich dem maximalen Photostrom \bar{I}_{\max}

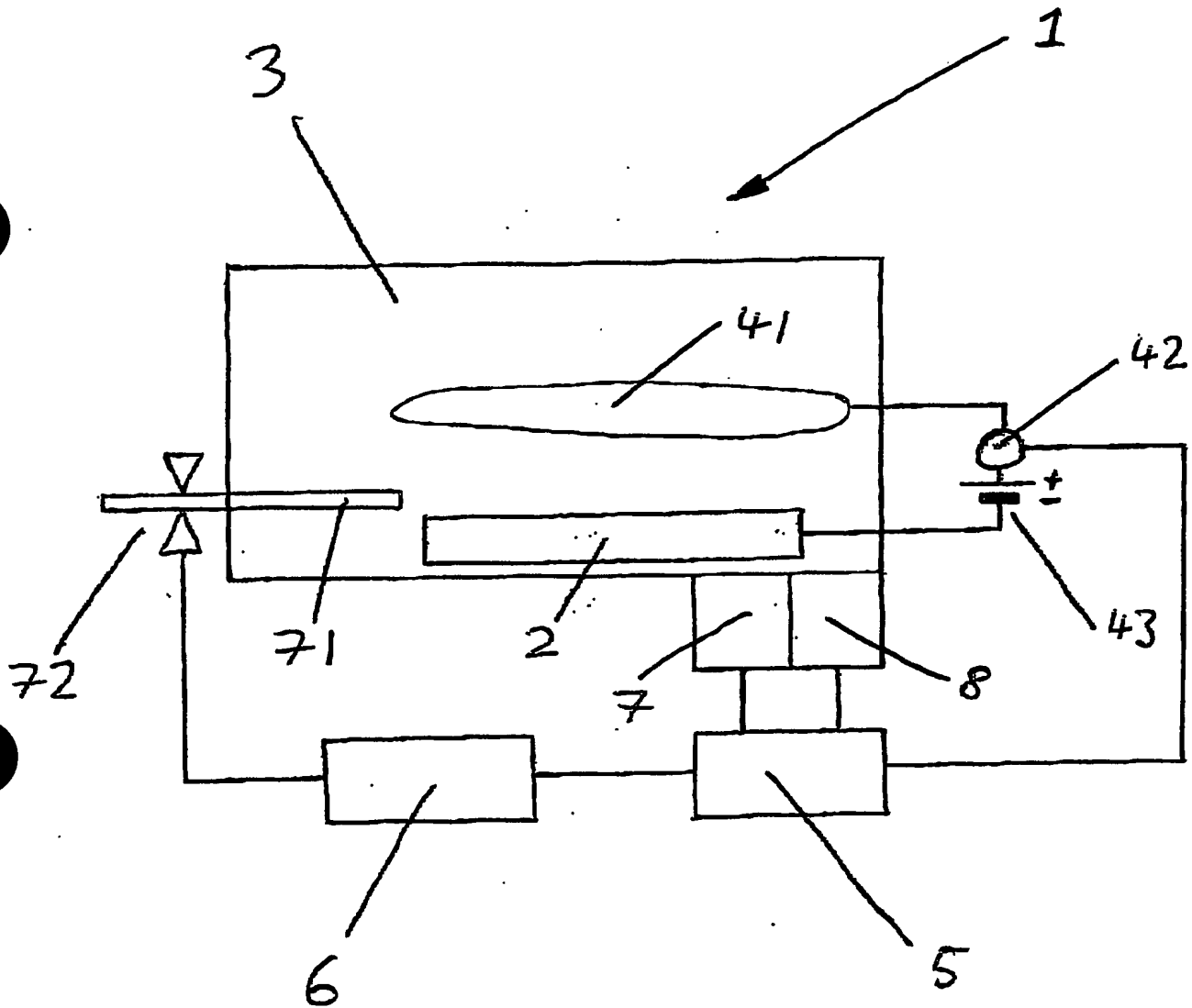
gewählt wird, bei dem die freie Grenzfläche im Maximum der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle liegt.

9. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der untere Schwellenwert $S_{2,i}$ größer oder gleich dem minimalen Photostrom \bar{I}_{\min} gewählt wird, bei dem die freie Grenzfläche im Minimum der elektrischen Feldintensität der stehenden Welle liegt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einem optischen Element mit einer oxidationsempfindlichen Oberfläche vor der EUV-Bestrahlung eine karbonisierte Gaszusammensetzung eingestellt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor Erreichen des ersten Schwellenwertes S_1 ein kohlenstoffhaltigen Gas zugeführt wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die gemessenen Sekundärelektronen in das Zeitintegral des entsprechenden Stroms umgerechnet werden.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gas in Oberflächennähe des optischen Elementes zugeführt wird.
14. Vorrichtung zur Regelung der Kontamination auf der Oberfläche mindestens eines optischen Elementes (2), **gekennzeichnet durch** eine Detektiereinrichtung (41, 42, 43) für Sekundärelektronen, eine an die Detektiereinrichtung angeschlossene Auswerteeinheit (5) und eine mit einer Gaszuführeinrichtung (71, 72) wirkverbundene Steuereinheit (6), die an die Auswerteeinheit (5) angeschlossen ist.

15. EUV-Lithographievorrichtung mit optischen Elementen (2), wobei in der Nähe mindestens eines der optischen Elemente (2) eine Detektiereinrichtung (41, 42, 43) für Sekundärelektronen angebracht ist, die mit einer Auswerteeinheit (5) wirkverbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Auswerteeinheit (5) eine Steuereinheit (6) angeschlossen, die mit mindestens einer Gaszuführeinrichtung (71, 72) wirkverbunden ist.
16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Detektiereinrichtung einen über der Oberfläche des optischen Elementes angeordneten Elektronenfänger, wie Nachweisring (41) oder Nachweisnetz, umfaßt, der derart angeordnet und/oder ausgebildet ist, daß er die einfallende EUV-Strahlung nicht beeinträchtigt.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Gaszuführeinrichtung mindestens eine Gaszuleitung (71) aufweist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Gaszuleitung (71) benachbart zur Oberfläche des optischen Elementes (2) angeordnet ist.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Auswerteeinheit (5) ein Restgasanalysator (8) angeschlossen ist.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerte- (5) und die Steuereinheit (6) zu einer Regeleinheit zusammengefaßt sind.

21. Verfahren zur Reinigung von mit Kohlenstoff kontaminierten Oberflächen von optischen Elementen durch Bestrahlung mit EUV-Strahlung in sauerstoffhaltiger Atmosphäre, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der Bestrahlung der durch Photoemission aus der zu reinigenden Oberfläche erzeugte Photostrom gemessen wird und als Stopppunkt des Einlassens von Gasen der Zeitpunkt gewählt wird, an dem der Photostrom vorgegebene Schwellwerte über- bzw. unterschreitet.

Fig. 1



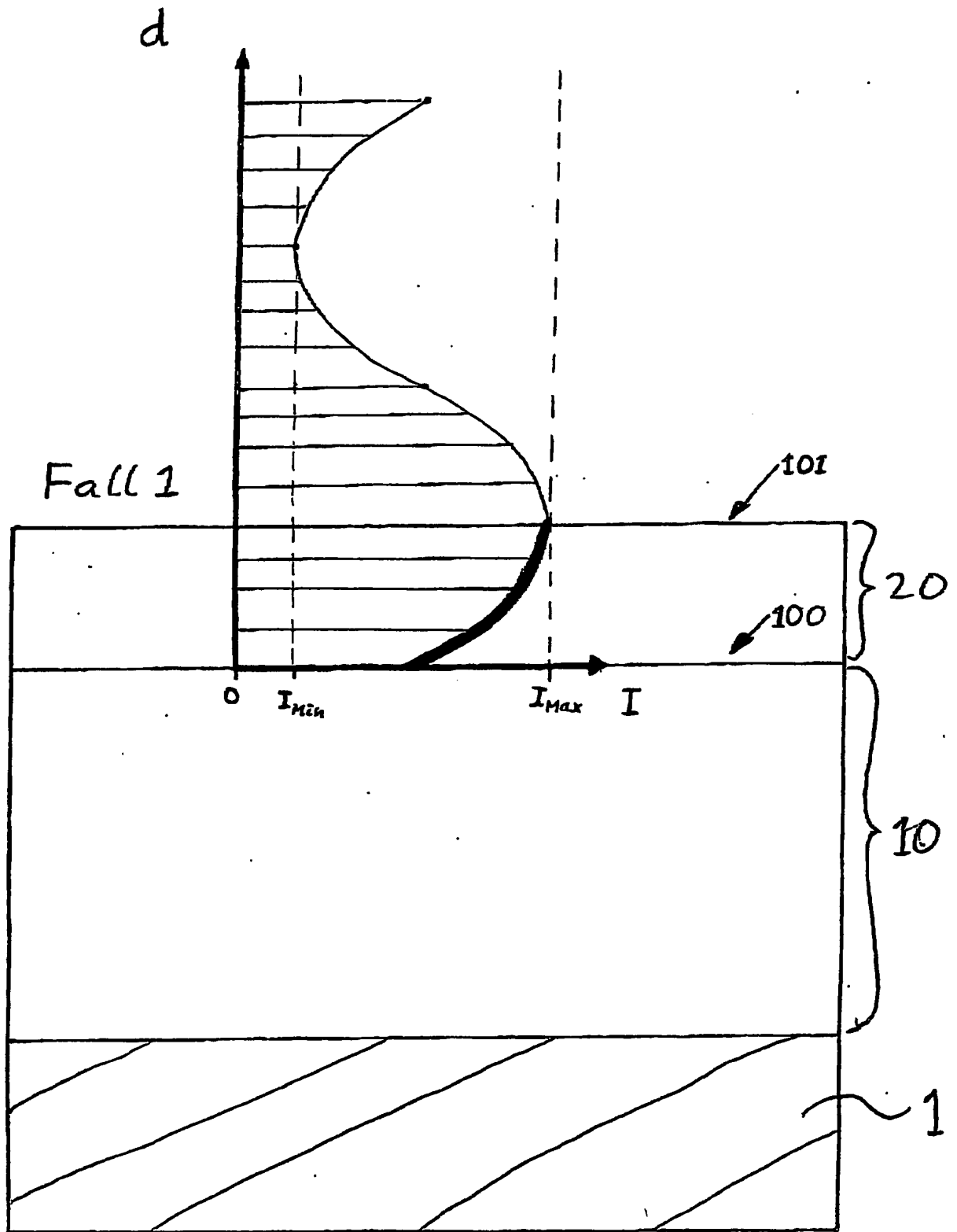


Fig. 2a

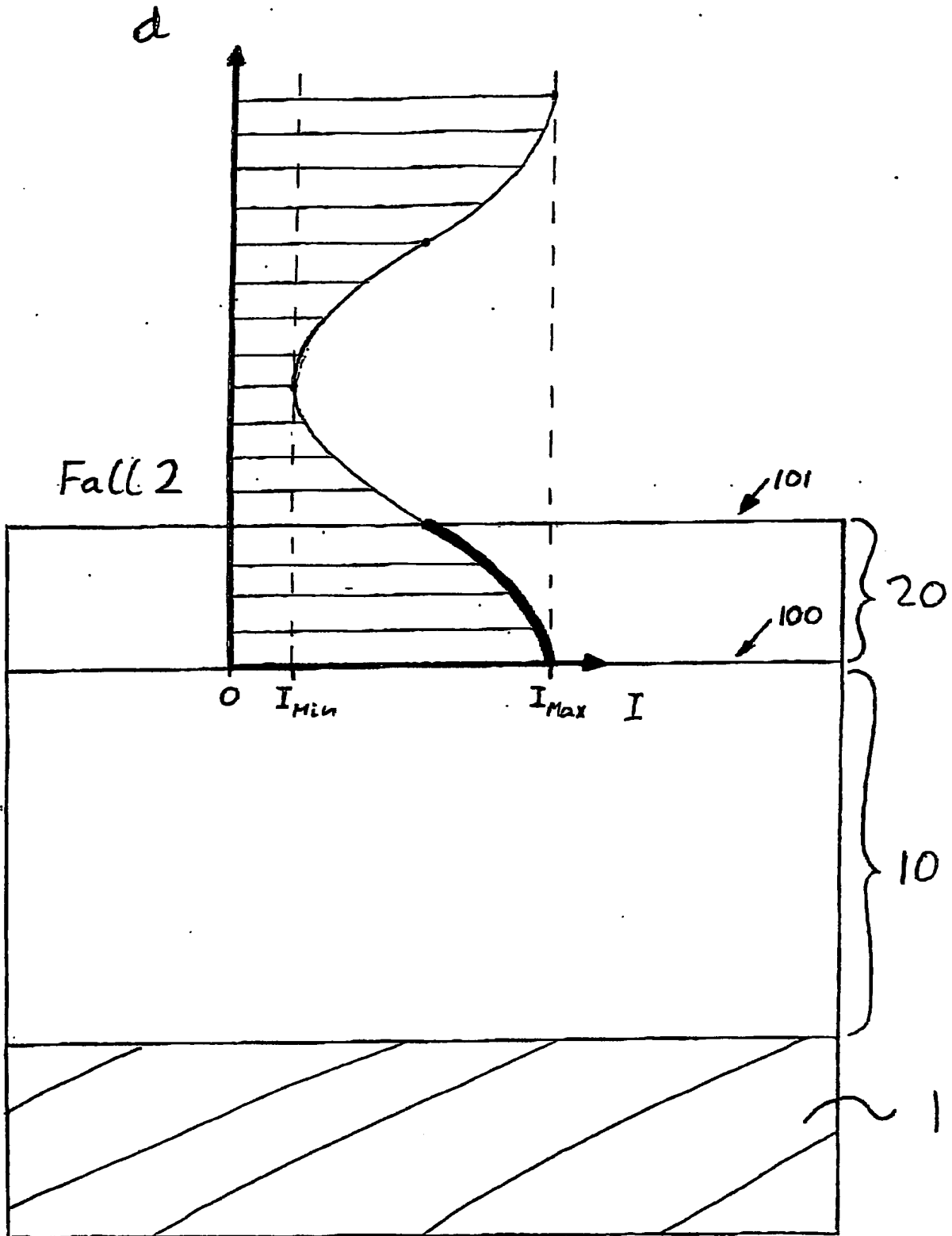


Fig. 2b

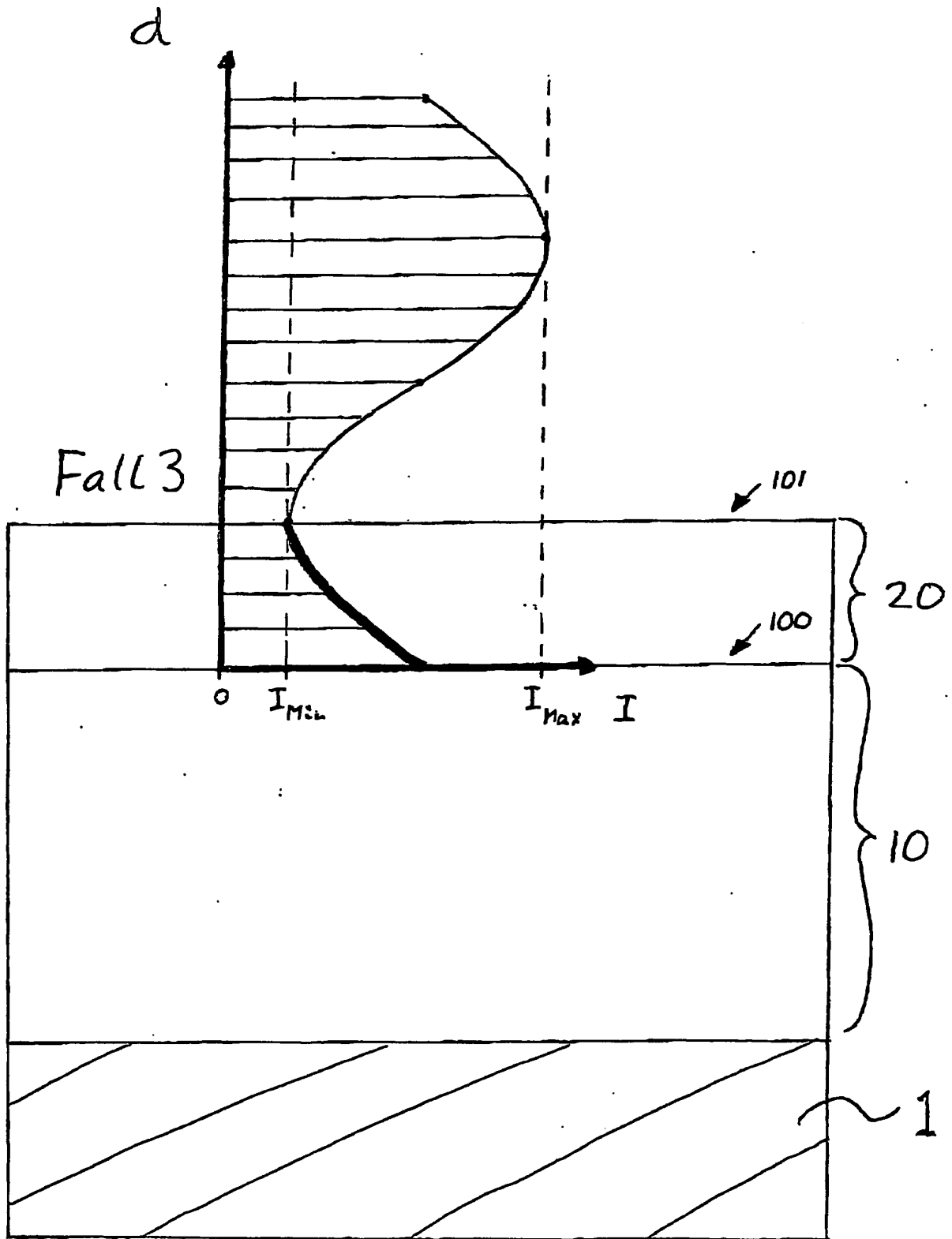


Fig. 2c

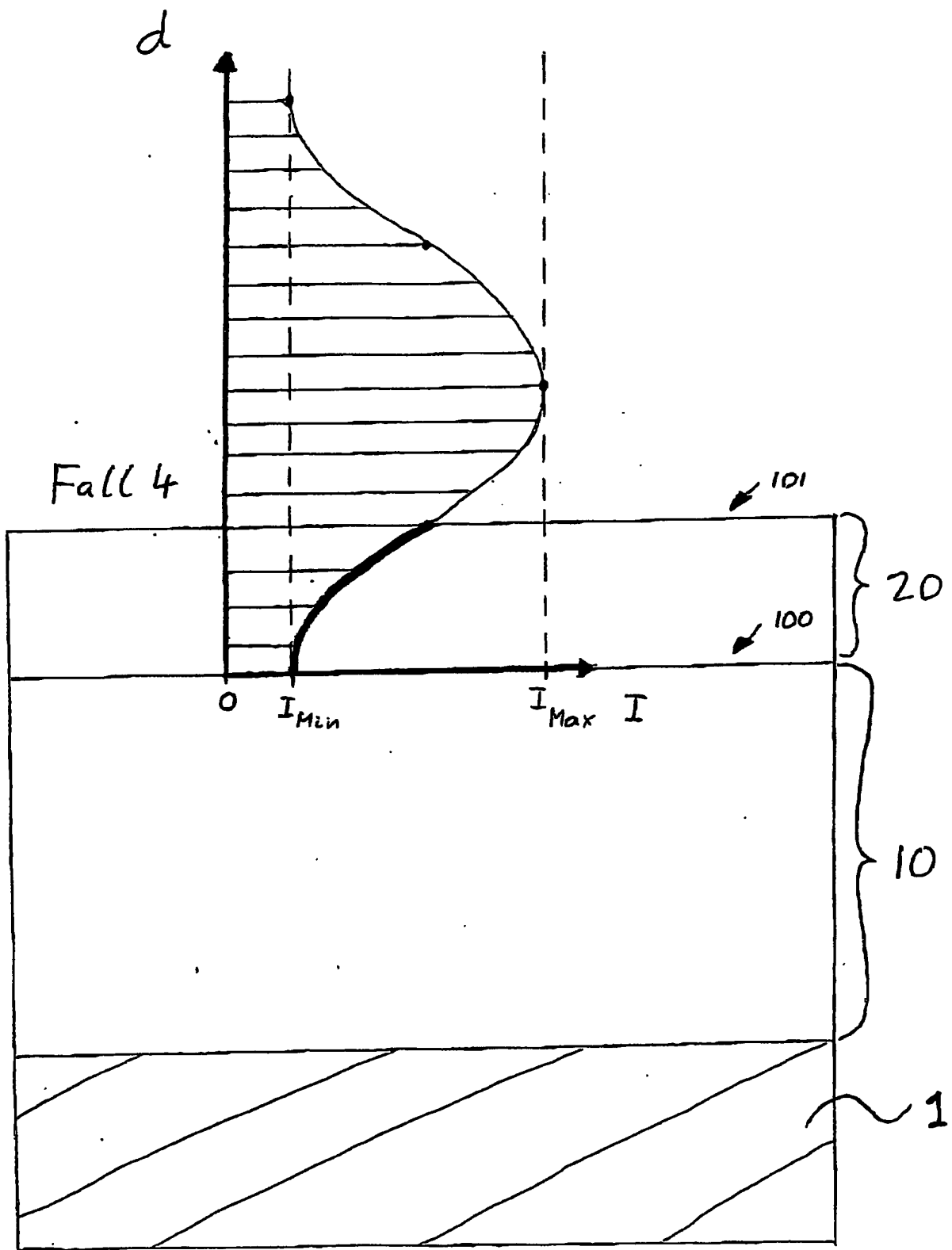


Fig. 2d

Fig. 3

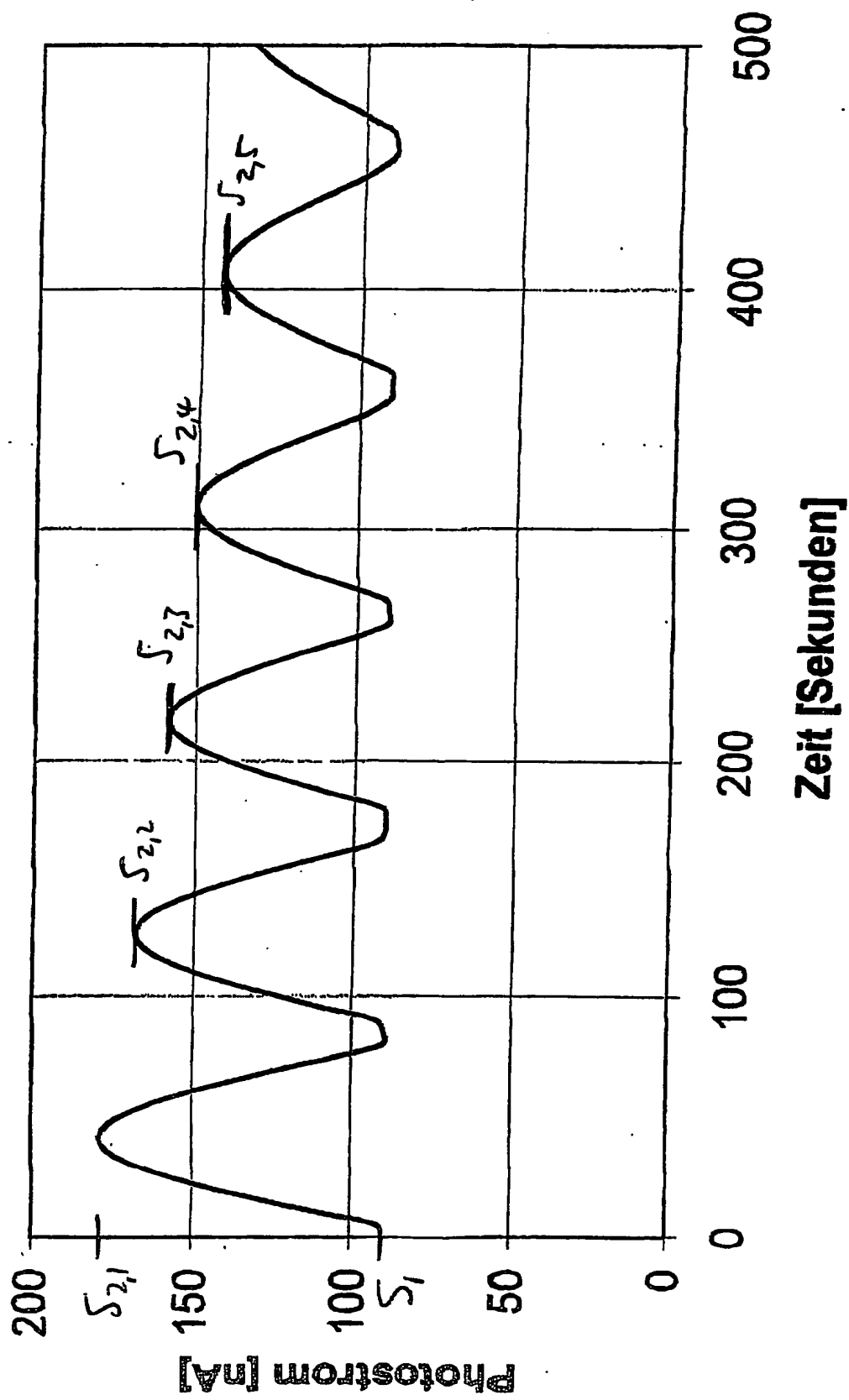


Fig. 4

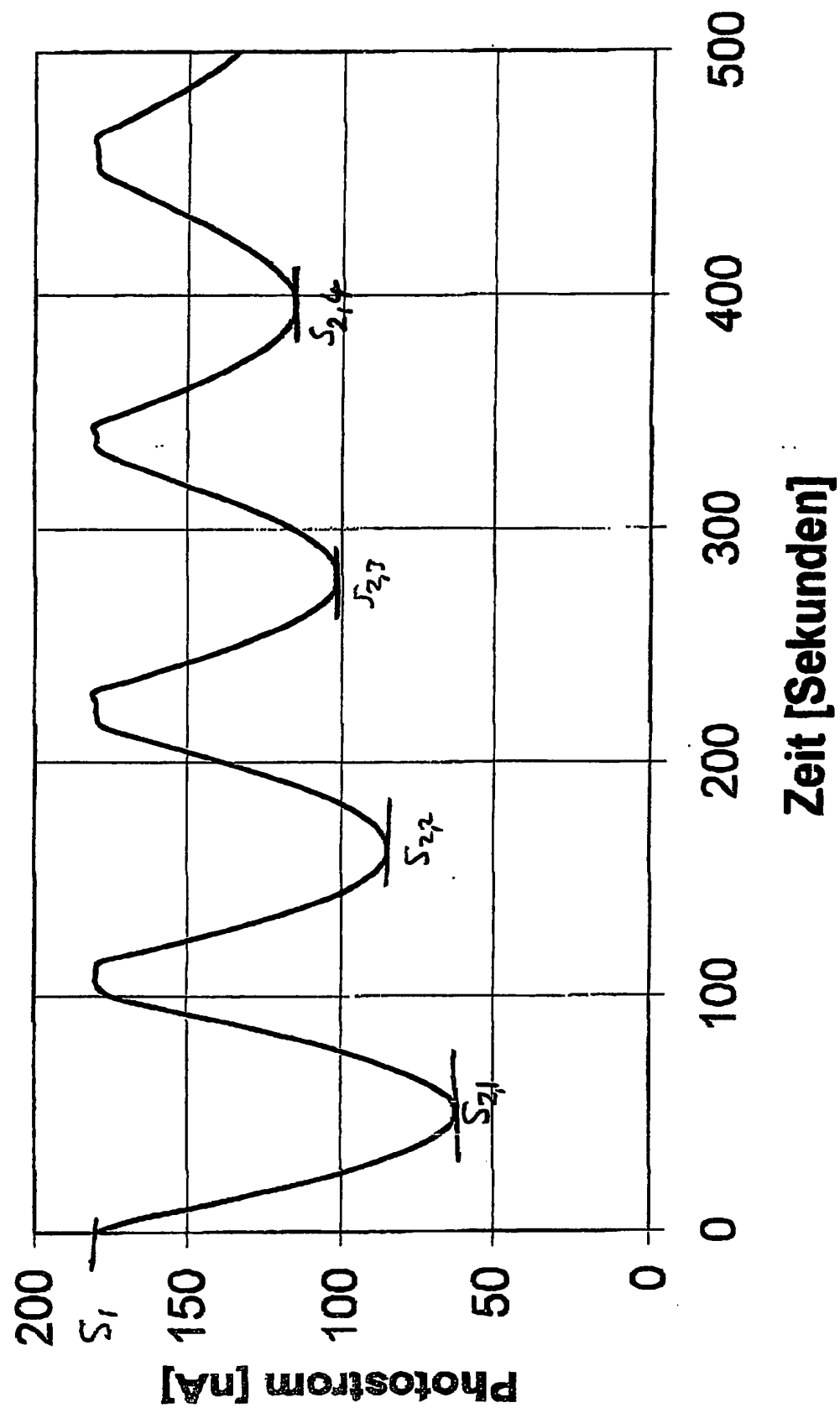


Fig. 5

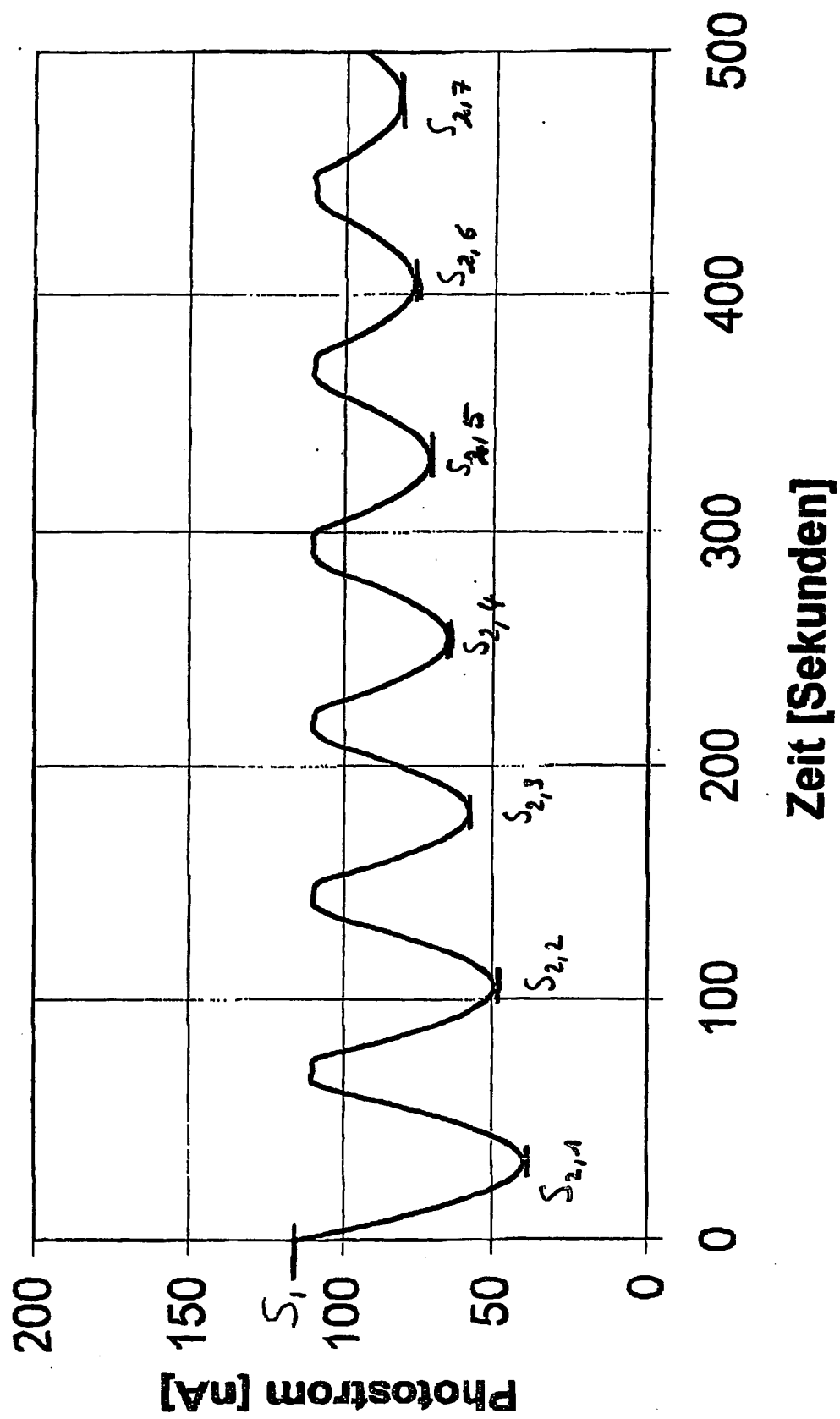


Fig. 6

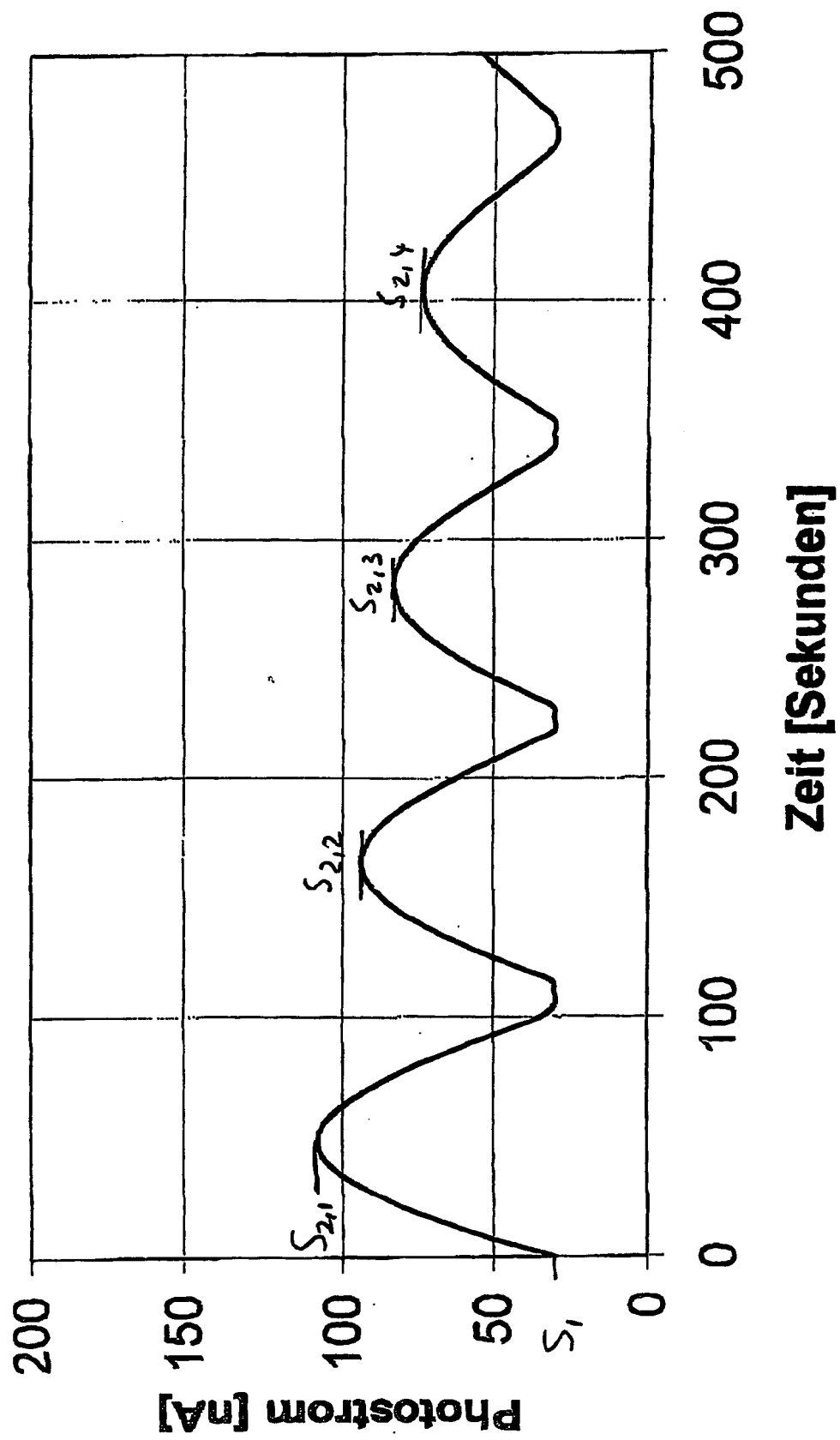


Fig. 7

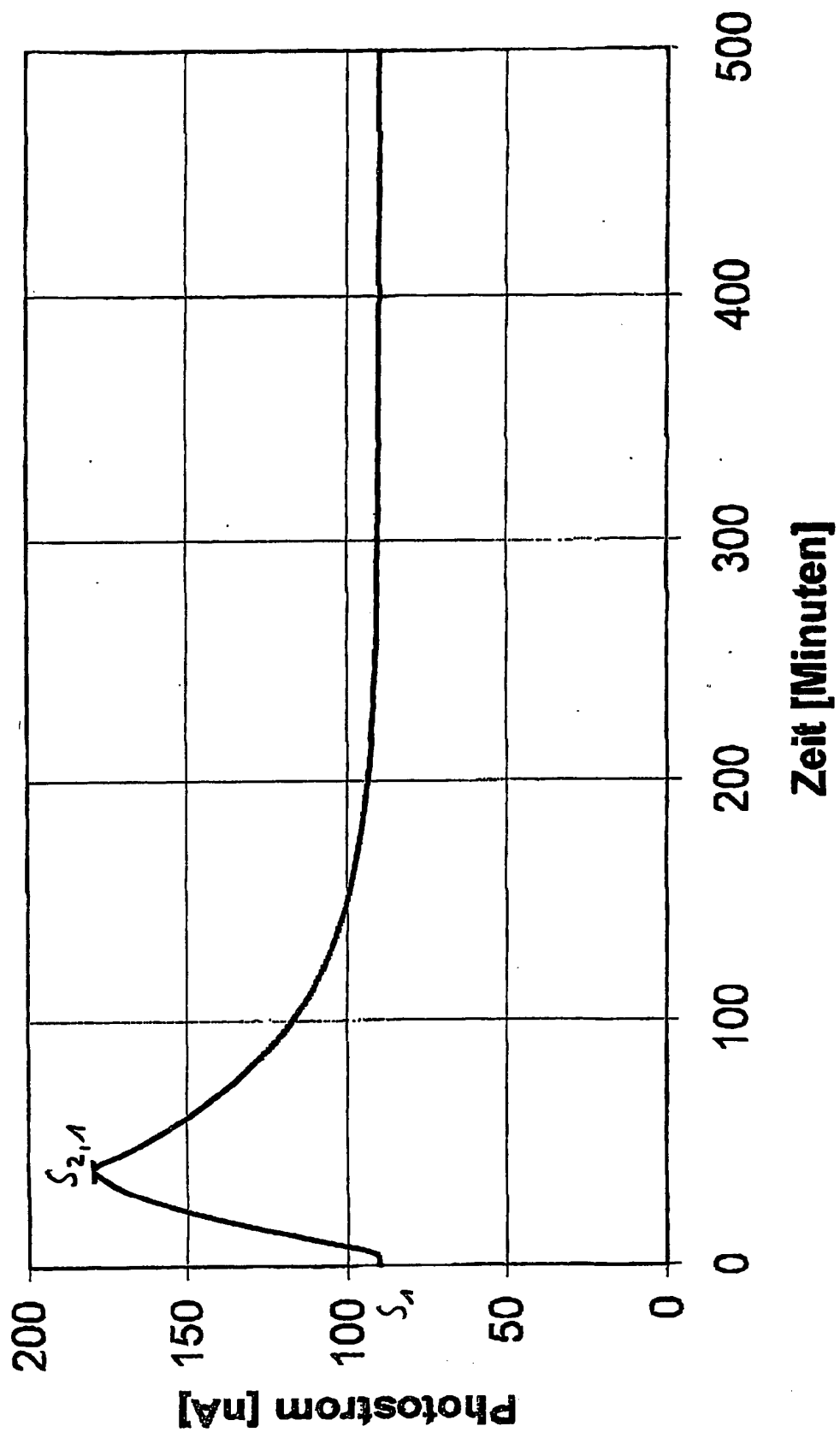


Fig. 8

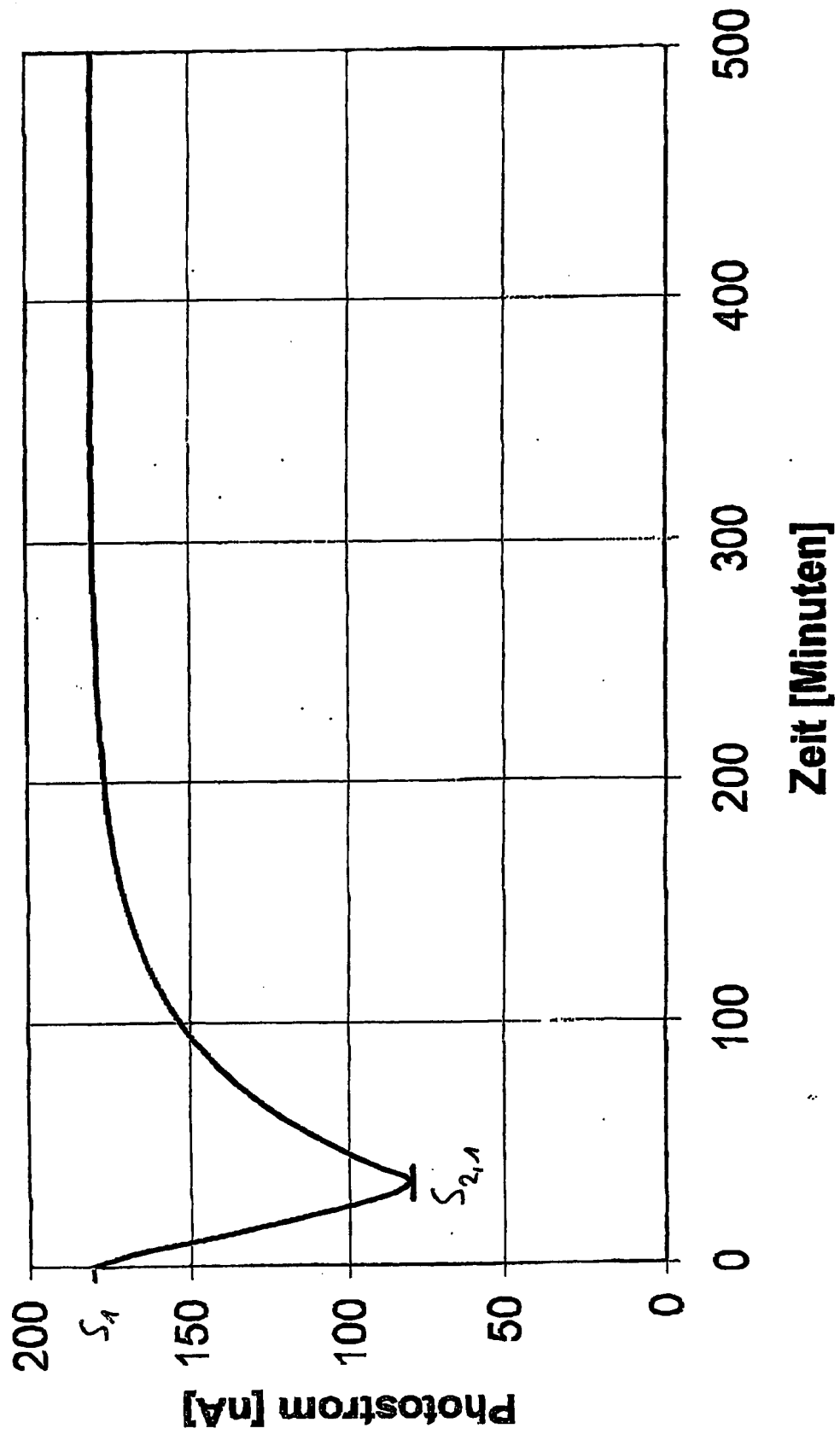


Fig. 9

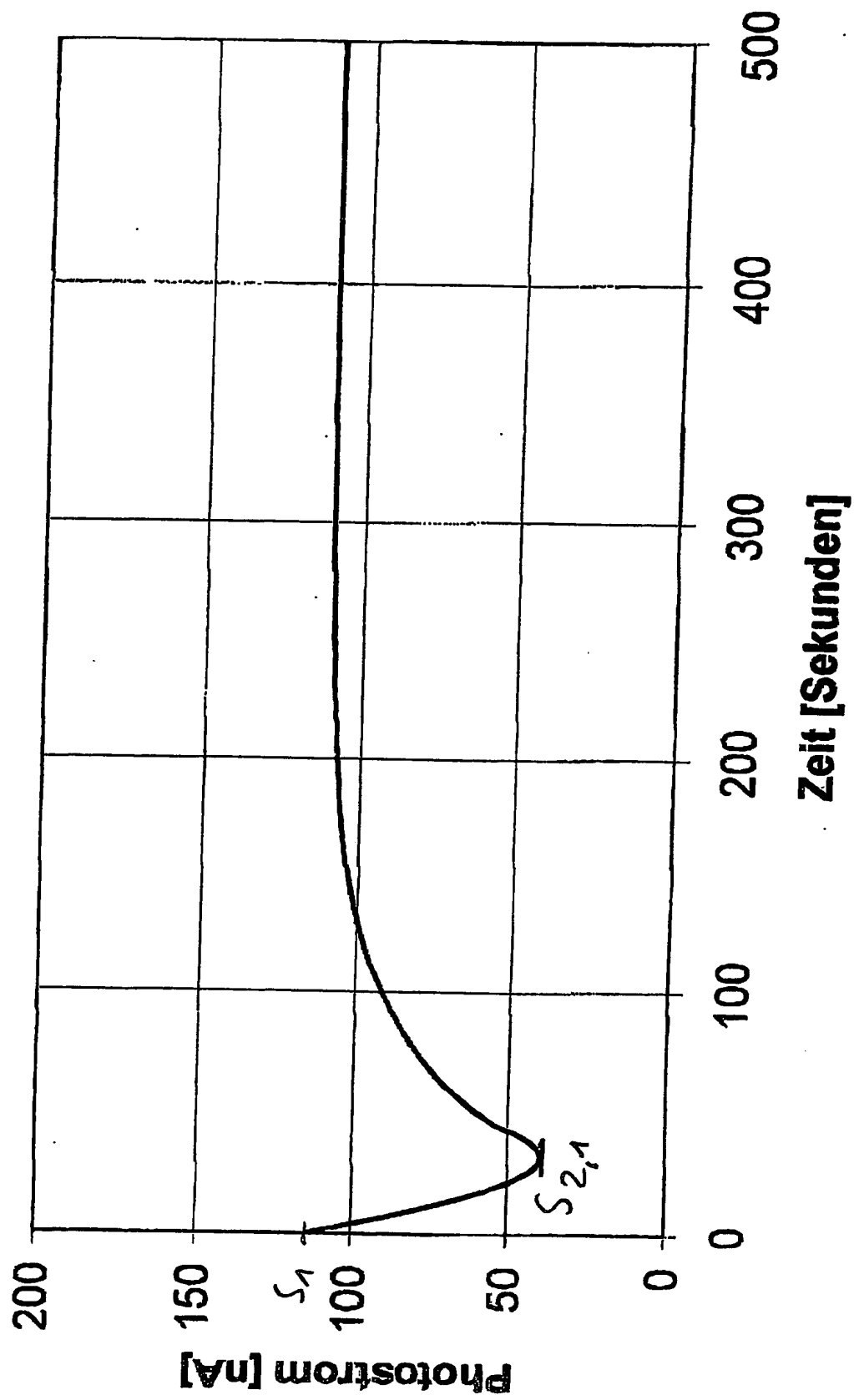


Fig. 10

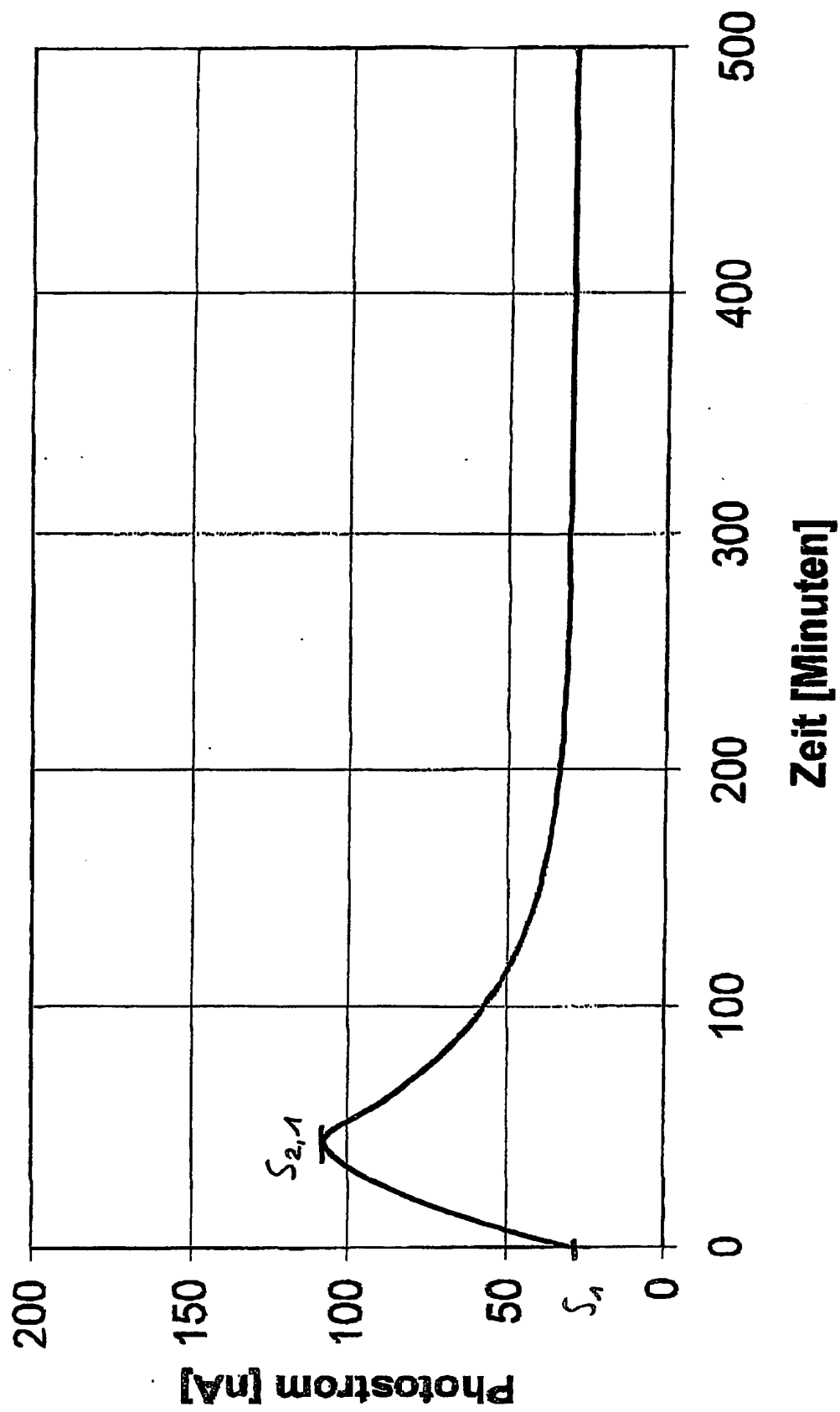


Fig. 11

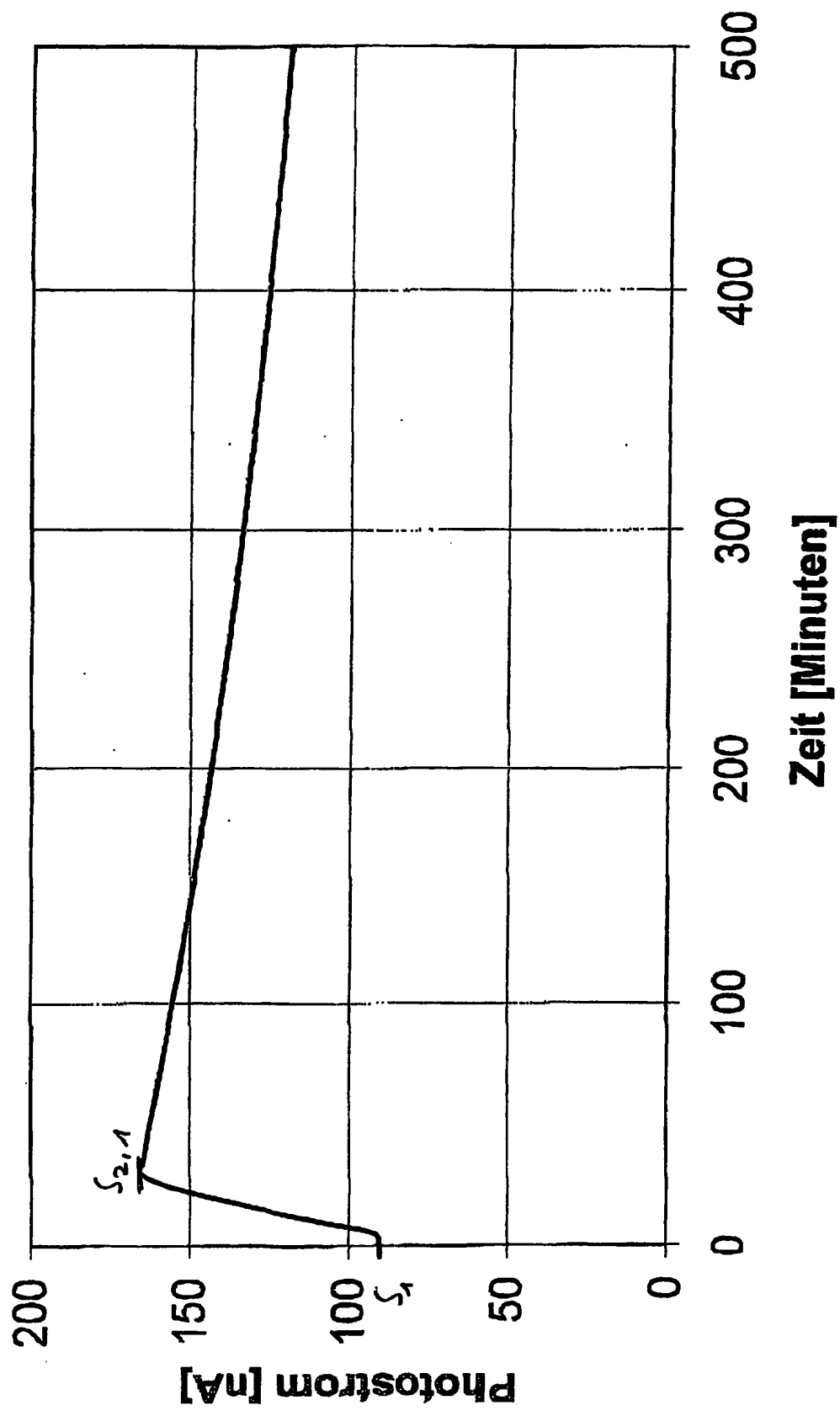


Fig. 12

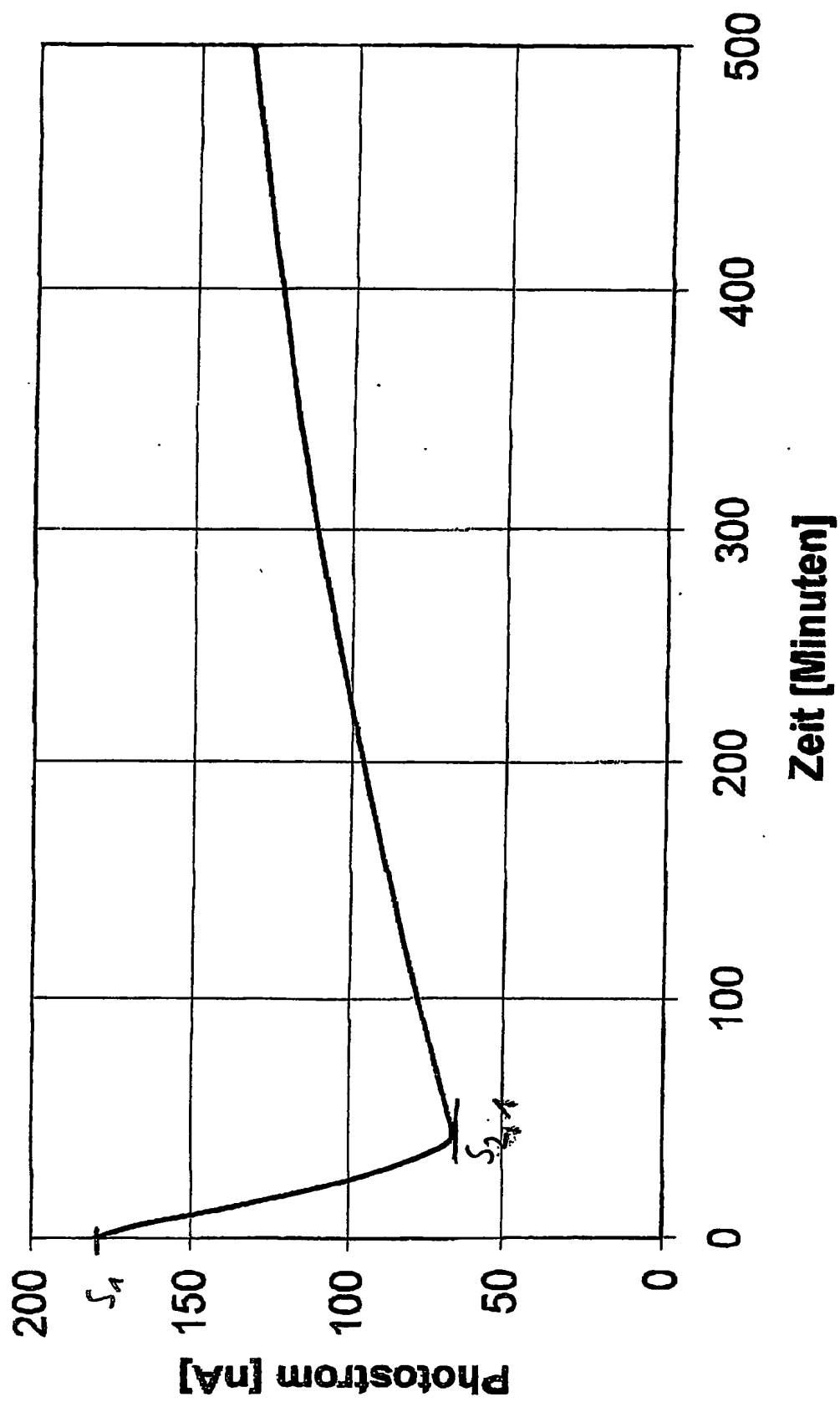


Fig. 13

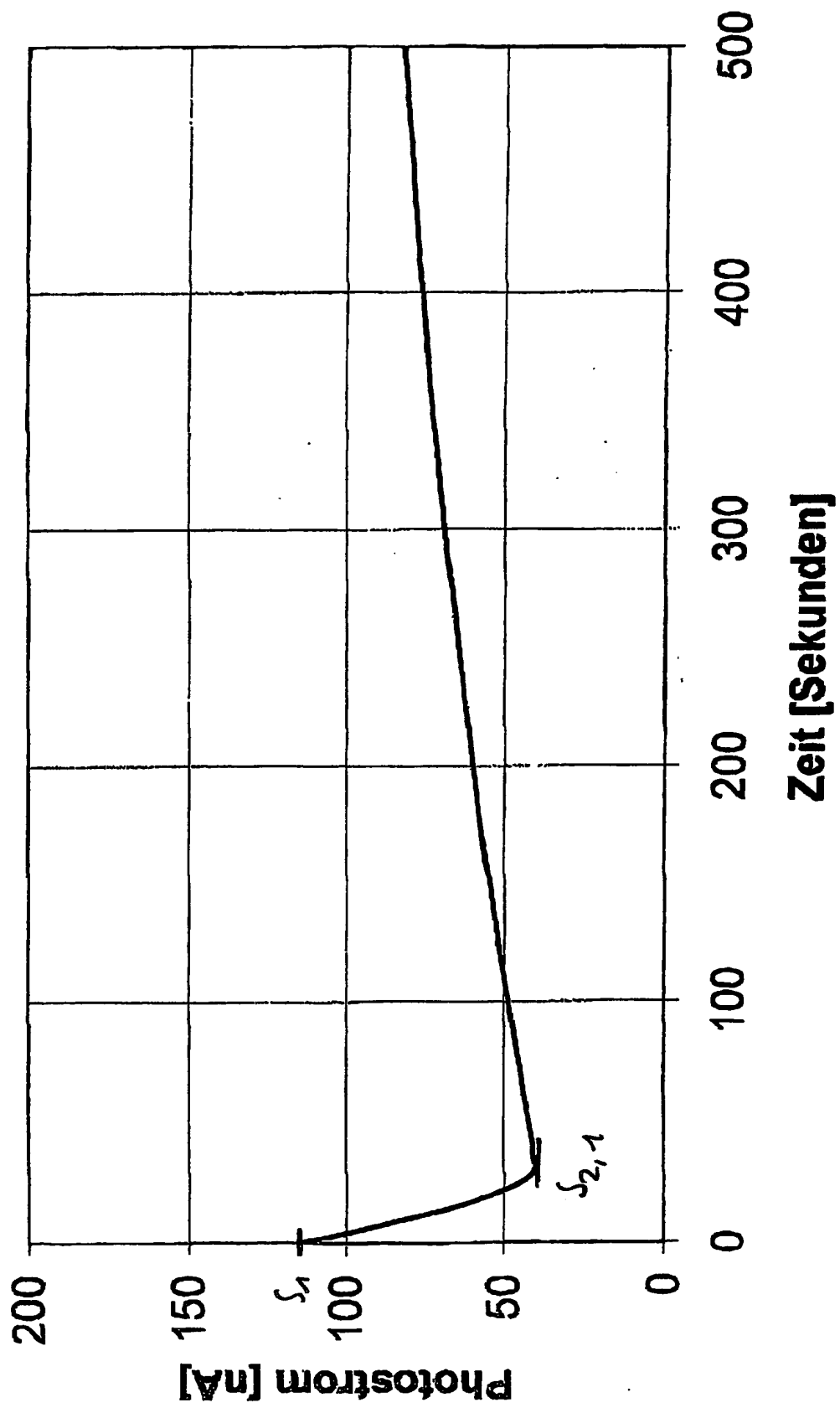
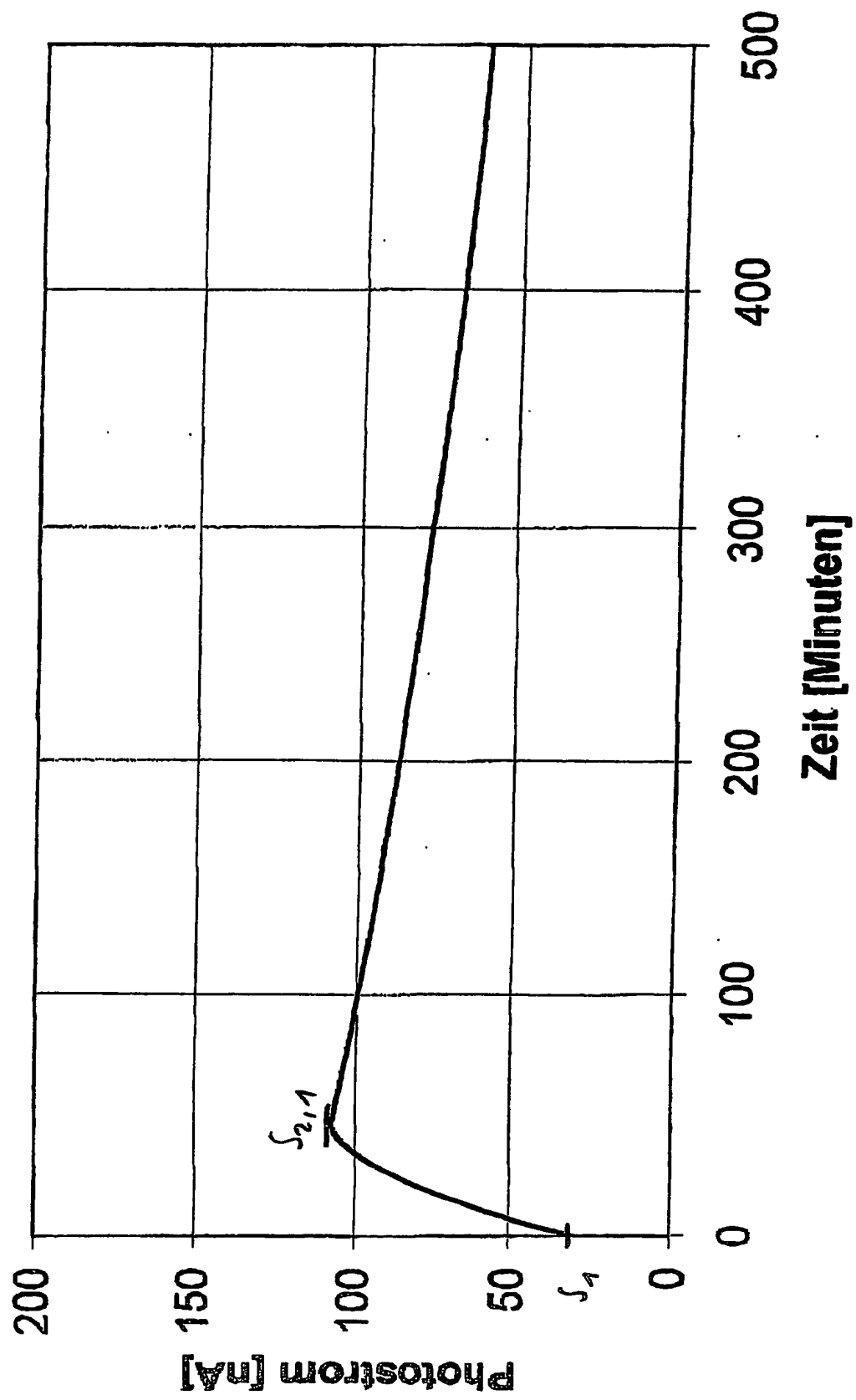


Fig. 14



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.